

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年    7 月 1 6 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 2 0 7 4 9 5  
Application Number:

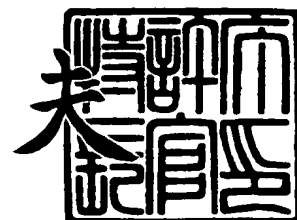
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 2 - 2 0 7 4 9 5 ]

出      願      人                      古河電気工業株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    8 月    1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 A20350

【提出日】 平成14年 7月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/00  
H01S 3/18  
H04B 10/16

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 大木 泰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 築地 直樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 吉田 順自

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 清水 裕

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 早水 尚樹

## 【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100089118

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 宏明

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 036711

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0103421

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レーザ光の出射端面に設けた第 1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第 2 反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、

前記活性層に注入されるバイアス電流を変調する変調信号を生成し、該変調信号を前記バイアス電流に重畳する変調手段を備え、

前記変調手段は、前記レーザ光の変調によってレイリー散乱レベルに 2 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 2】 前記変調手段は、前記レーザ光の変調によってレイリー散乱レベルに 1 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 3】 前記活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と該回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に複数の発振縦モードを生成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】 レーザ光の出射端面に設けた第 1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第 2 反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、

前記複数の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が 10 dB 以下である高出力発振縦モードを複数選択する回折格子を備え、

前記回折格子は、前記高出力発振縦モードの選択本数によってレイリー散乱レベルに 2 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 5】 前記回折格子は、前記高出力発振縦モードの選択本数によってレイリー散乱レベルに 1 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリ

ターンロスを与えることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 6】 レーザ光の出射端面に設けた第 1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第 2 反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置と、

前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、

前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合効率が最大となる位置からずれた状態で前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合を行う光結合レンズ系と、

を備え、前記光結合効率の減衰によってレイリー散乱レベルに 2 d B 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 7】 レーザ光の出射端面に設けた第 1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第 2 反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置と、

前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、

前記レーザ光を減衰させる光減衰器と、

を備え、前記光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに 2 d B 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 8】 前記光結合効率または前記光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに 1 d B 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 9】 前記活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と該回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に複数の発振縦モードを生成することを特徴とする請求項 6 ～ 8 のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 10】 請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置あ

るいは請求項 6 ～ 9 のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュールを、広帯域ラマン増幅用の励起用光源として用いることを特徴とするラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、ラマン増幅器などの励起用光源に適した半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、インターネットをはじめとする様々なマルチメディアの普及に伴って、光通信に対する大容量化の要求が大きくなっている。従来、光通信では、光ファイバによる光の吸収が少ない波長である 1 3 1 0 n m もしくは 1 5 5 0 n m の帯域において、それぞれ単一の波長による伝送が一般的であった。この方式では、多くの情報を伝達するためには伝送経路に敷設する光ファイバの芯数を増やす必要があり、伝送容量の増加に伴ってコストが増加するという問題点があった。

【 0 0 0 3 】

そこで、高密度波長分割多重（DWDM：Dense-Wavelength Division Multiplexing）通信方式が用いられるようになった。この DWDM 通信方式は、主にエルビウム添加ファイバ増幅器（EDFA：Erbium Doped Fiber Amplifier）を用い、この動作帯域である 1 5 5 0 n m 帯において、複数の波長を使用して伝送を行う方式である。この DWDM 通信方式あるいは WDM 通信方式では、1 本の光ファイバを用いて複数の異なる波長の光信号を同時に伝送することから、新たな線路を敷設する必要がなく、ネットワークの伝送容量の飛躍的な増加をもたらすことを可能としている。

【 0 0 0 4 】

この EDFA を用いた一般的な WDM 通信方式では、利得平坦化の容易な 1 5 5 0 n m から実用化され、最近では、利得係数が小さいために利用されていなかった 1 5 8 0 n m 帯にまで拡大している。しかしながら、EDFA で増幅可能な帯域に比して光ファイバの低損失帯域の方が広いことから、EDFA の帯域外で

動作する光増幅器、すなわちラマン増幅器への関心が高まっている。

#### 【0005】

ラマン増幅器は、エルビウムのような希土類イオンを媒体とした光増幅器がイオンのエネルギー準位によって利得波長帯が決まるのに対し、励起光の波長によって利得波長帯が決まるという特徴を持ち、励起光波長を選択することによって任意の波長帯を増幅することができる。

#### 【0006】

ラマン増幅では、光ファイバに強い励起光を入射すると、誘導ラマン散乱によって、励起光波長から約100nm程度、長波長側に利得が現れ、この励起された状態の光ファイバに、この利得を有する波長帯域の信号光を入射すると、この信号光が増幅されるというものである。したがって、ラマン増幅器を用いたWDM通信方式では、EDFAを用いた通信方式に比して、信号光のチャンネル数をさらに増加させることができる。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、半導体レーザ素子は、温度変化などの様々に要因によって単位周波数当たりの光強度の揺らぎである相対強度雑音（RIN:Relative Intensity Noise）を発生する。ラマン増幅では、増幅の生じる過程が早く起こるため、励起光強度が揺らいでいると、ラマン利得も揺らぐことになり、このラマン利得の揺らぎがそのまま増幅された信号強度の揺らぎとして出力されてしまい、安定したラマン増幅を行わせることができないという問題点があった。

#### 【0008】

ここで、ラマン増幅器としては、信号光の増幅媒体に対して後方から励起する後方励起方式のほかに、信号光の増幅媒体に対して前方から励起する前方励起方式および双方向から励起する双方向励起方式がある。現在、ラマン増幅器として多用されているのは、後方励起方式である。その理由は、弱い信号光が強い励起光とともに同方向に進行する前方励起方式では、励起光強度が揺らぐという問題があるからである。したがって、前方励起方式にも適用できる安定した励起光源の出現が要望されている。

**【0009】**

この発明は上記に鑑みてなされたもので、R I Nの値が小さい増幅信号光を得ることができる半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器を提供することを目的とする。

**【0010】****【課題を解決するための手段】**

上記目的を達成するため、請求項1にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、前記活性層に注入されるバイアス電流を変調する変調信号を生成し、該変調信号を前記バイアス電流に重畳する変調手段を備え、前記変調手段は、前記レーザ光の変調によってレイリー散乱レベルに2 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

**【0011】**

この請求項1の発明によれば、前記変調手段が、前記レーザ光の変調によって、たとえば変調度1%の変調を行って、レイリー散乱レベルに2 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、伝送後のR I Nを低減するようにしている。

**【0012】**

また、請求項2にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記変調手段は、前記レーザ光の変調によってレイリー散乱レベルに1 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

**【0013】**

また、請求項3にかかる半導体レーザ装置は、前記活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と該回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に複数の発振縦モードを生成することを特徴とする。

**【0014】**

また、請求項4にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けた第



1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、前記複数の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10 dB以下である高出力発振縦モードを複数選択する回折格子を備え、前記回折格子は、前記高出力発振縦モードの選択本数によってレイリー散乱レベルに2 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

#### 【0015】

この請求項4の発明によれば、前記回折格子による前記高出力発振縦モードの選択本数によって、たとえば高出力発振縦モードを18本以上とすることによって、レイリー散乱レベルに2 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、伝送後のRINを低減するようにしている。

#### 【0016】

また、請求項5にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子は、前記高出力発振縦モードの選択本数によってレイリー散乱レベルに1 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

#### 【0017】

また、請求項6にかかる半導体レーザモジュールは、レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合効率が最大となる位置からずれた状態で前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合を行う光結合レンズ系と、を備え、前記光結合効率の減衰によってレイリー散乱レベルに2 dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

#### 【0018】

この請求項6の発明によれば、光結合レンズ系が、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合効率が最大となる位置からずれた状態で前記半導体レー

ザ装置と前記光ファイバとの光結合を行い、前記光結合効率の減衰によってレイリー散乱レベルに 2 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、伝送後の R I N を低減するようにしている。

【0019】

また、請求項 7 にかかる半導体レーザモジュールは、レーザ光の出射端面に設けた第 1 反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第 2 反射膜との間に形成された活性層を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記レーザ光を減衰させる光減衰器と、を備え、前記光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに 2 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

【0020】

この請求項 7 の発明によれば、前記光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに 2 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、伝送後の R I N を低減するようにしている。

【0021】

また、請求項 8 にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光結合効率または前記光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに 1 dB 加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることを特徴とする。

【0022】

また、請求項 9 にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と該回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に複数の発振縦モードを生成することを特徴とする。

【0023】

また、請求項 10 にかかるラマン増幅器は、請求項 1～5 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置あるいは請求項 6～9 のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュールを、広帯域ラマン増幅用の励起用光源として用いることを特徴とす

る。

#### 【0024】

##### 【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかる半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器の好適な実施の形態について説明する。

#### 【0025】

##### （実施の形態1）

まず、この発明の実施の形態1について説明する。この実施の形態1では、半導体レーザ装置へのバイアス電流を変調し、この変調されたレーザ光を出力するという、誘導ブリルアン散乱を抑制技術の一つを用いて、RINを抑制するというものである。本発明者らは、誘導ブリルアン散乱を抑制することによって、RINが低減されることをはじめてみいだした。なお、半導体レーザ装置をラマン増幅器などの分布型増幅器の励起用光源として用いる場合、ラマン増幅利得を大きくするために励起光出力を増大することが好ましいが、そのピーク値が高いと、誘導ブリルアン散乱が発生し、雑音が増加するという不具合が発生する。

#### 【0026】

図1は、この発明の実施の形態1である半導体レーザ装置を斜めからみた破断面図である。図2は、図1に示した半導体レーザ装置の長手方向の縦断面図である。また、図3は、図2に示した半導体レーザ装置のA-A線断面図である。図1～図3において、この半導体レーザ装置20は、n-InP基板1の(100)面上に、順次、n-InPによるバッファ層と下部クラッド層とを兼ねたn-InPバッファ層2、圧縮歪みをもつGRIN-SCH-MQW (Graded Index-Separate Confinement Heterostructure Multi Quantum Well) 活性層3、p-InPスペーサ層4、p-InPクラッド層6、およびp-InGaAsPコンタクト層7が積層された構造を有する。

#### 【0027】

p-InPスペーサ層4内には、膜厚20nmを有し、出射側反射膜15の反射端面から反射膜14側に向けて長さ $L_g = 50 \mu m$ の回折格子13が設けられ

、この回折格子 13 は、ピッチ約 220 nm で周期的に形成され、中心波長 1.48  $\mu$ m のレーザ光を波長選択する。ここで、回折格子 13 は、回折格子の結合係数  $\kappa$  と回折格子長  $L_g$  との乗算値を 0.3 以下とすることによって、駆動電流－光出力特性の線形性を良好にし、光出力の安定性を高めている（特願 2001-134545 参照）。また、共振器長  $L$  が 1300  $\mu$ m の場合、回折格子長  $L_g$  が約 300  $\mu$ m 以下のときに複数の発振縦モード数で発振するので、回折格子長  $L_g$  は 300  $\mu$ m 以下とすることが好ましい。ところで、共振器長  $L$  の長短に比例して、発振縦モード間隔も変化するため、回折格子長  $L_g$  は、共振器長  $L$  に比例した値となる。すなわち、回折格子長  $L_g$  : 共振器長  $L$  = 300 : 1300 の関係を維持するため、回折格子長  $L_g$  が 300  $\mu$ m 以下で複数の発振縦モードが得られる関係は、

$$L_g \times (1300 (\mu\text{m}) / L) \leq 300 (\mu\text{m})$$

として拡張することができる。すなわち、回折格子長  $L_g$  は、共振器長  $L$  との比を保つように設定され、共振器長  $L$  の (300 / 1300) 倍の値以下としている（特願 2001-134545 参照）。この回折格子 13 を含む p-InP スペーサ層 4、GRIN-SCH-MQW 活性層 3、および n-InP バッファ層 2 の上部は、メサストライプ状に加工され、メサストライプの長手方向の両側には、電流ブロッキング層として形成された p-InP ブロッキング層 8 と n-InP ブロッキング層 9 とによって埋め込まれている。また、p-InGaAsP コンタクト層 7 の上面には、p 側電極 10 が形成される。一方、n-InP 基板 1 の裏面には、n 側電極 11 が形成される。なお、この半導体レーザ装置 20 から出力されたレーザ光は、単一横モード発振していればよく、活性層あるいは光導波路の構造はストライプ構造に限られない。

#### 【0028】

半導体レーザ装置 20 の長手方向の一端面である光反射端面には、反射率 80 % 以上、好ましくは 98 % 以上の高光反射率をもつ反射膜 14 が形成され、他端面である光出射端面には、反射率が 10 % 以下、好ましくは 5 %、1 %、0.5 % 以下、さらに好ましくは 0.1 % 以下の低光反射率をもつ出射側反射膜 15 が形成される。反射膜 14 と出射側反射膜 15 とによって形成された光共振器の G

RIN-SCH-MQW活性層3内に発生した光は、反射膜14によって反射し、出射側反射膜15を介し、レーザ光として出射されるが、この際、回折格子13によって波長選択されて出射される。

#### 【0029】

また、この半導体レーザ装置20は、バイアス電流をp側電極10に印加する電流駆動部21と、このバイアス電流を変調する変調周波数信号を印加する変調信号印加部22とを有する。変調信号印加部22から出力された変調周波数信号は、接続点23においてバイアス電流に重畳され、この変調周波数信号が重畳された重畳信号はp側電極10に印加されることになる。

#### 【0030】

この変調周波数信号は、5～1000kHzの正弦波信号であり、バイアス電流の値の0.1～10%程度の振幅値を有する。すなわち、この変調周波数信号はバイアス電流の値の±10%まで変調される。なお、レーザ光の変調は、バイアス電流の値の1～10%程度の振幅値に限らず、光出力の値の1～10%程度の振幅値で変調するように定義してもよい。さらに、変調周波数信号は、正弦波信号に限らず、三角波信号などの周期信号であってもよい。この場合、三角波信号などの他の周期信号は複数の正弦波成分を含むため、正弦波信号を変調周波数信号とするのが好ましい。

#### 【0031】

この実施の形態1における半導体レーザ装置20は、ラマン増幅器の励起用光源として用いられることを前提とし、その発振波長 $\lambda_0$ は、1100nm～1550nmであり、共振器長Lは、800 $\mu$ m以上3200 $\mu$ m以下としている。ところで、一般に、半導体レーザ装置の共振器によって発生する縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、実効屈折率を「n」とすると、次式で表すことができる。すなわち、

$$\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2 \cdot n \cdot L)$$

である。ここで、発振波長 $\lambda_0$ を1480 $\mu$ mとし、実効屈折率を3.5とすると、共振器長Lが800 $\mu$ mのとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約0.39nmとなり、共振器長が3200 $\mu$ mのとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約

0.1 nmとなる。すなわち、共振器長 $L$ を長くすればするほど、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は狭くなり、単一縦モードのレーザ光を発振するための選択条件が厳しくなる。

#### 【0032】

一方、回折格子13は、そのブラッグ波長によって縦モードを選択する。この回折格子13による選択波長特性は、図4に示す発振波長スペクトル30として表される。

#### 【0033】

図4に示すように、この実施の形態1では、回折格子13を有した半導体レーザ装置20による発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ で示される波長選択特性内に、発振縦モードを複数存在させるようにしている。従来のDBR (Distributed Bragg Reflector) 半導体レーザ装置あるいはDFB (Distributed Feedback) 半導体レーザ装置では、共振器長 $L$ を800  $\mu\text{m}$ 以上とすると、単一縦モード発振が困難であったため、かかる共振器長 $L$ を有した半導体レーザ装置は用いられなかった。しかしながら、この実施の形態1の半導体レーザ装置20では、共振器長 $L$ を積極的に800  $\mu\text{m}$ 以上とすることによって、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に複数の発振縦モードを含ませてレーザ出力するようにしている。図4では、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に3つの発振縦モード31～33を有している。

#### 【0034】

ところで、図4に示した各発振縦モード31a～31cのスペクトル幅は、電流駆動部21から出力されるバイアス電流のみによって駆動される場合に比して広がっている。これは、変調信号印加部22から出力された変調周波数信号によって広げられたものである。図5は、バイアス電流に変調周波数信号が重畳された重畳信号によって駆動された場合における光出力の時間変化を示す図である。図5において、変調周波数信号は、バイアス電流の値の1%の振幅値を有する正弦波信号であり、バイアス電流のみによって駆動された場合の光出力の振幅を、正弦的に1%変化させている。この動作は、図6に示すように、半導体レーザ装置の電流－光出力 ( $I-L$ ) 特性に変調をかけた場合に相当する。

## 【0035】

図6に示した変調領域では、 $I-L$ 特性がリニアであるため、変調周波数信号によって変調された駆動電流の変調度がそのまま光出力の変調度となる。したがって、この変調領域においては、図7に示すように、変調周波数の振幅を1%に維持した駆動電流を印加するのみで、常に光出力の変調度は1%に維持され、光出力の変調度の制御が容易になる。一方、さらに光出力が増大する領域では、変調周波数信号によって変調された駆動電流の変調度と光出力の変調度とが一致しなくなる。この場合、変調周波数信号の振幅値を調整し、図5に示すように、常に光出力の変調度が1%になるように制御する。

## 【0036】

このようにして、半導体レーザ装置に印加される駆動電流の値が変化すると、GRIN-SCH-MQW活性層3などのレーザ光の発光領域の実効屈折率 $n$ が変化する。この実効屈折率 $n$ が変化すると、光学的な共振器長 $L_{op}$ も変化する。すなわち、物理的な共振器長を「 $L$ 」とすると、光学的な共振器長 $L_{op}$ は、

$$L_{op} = n \cdot L$$

で表され、実効屈折率 $n$ の変化に追随して、光学的な共振器長 $L_{op}$ が変化する。この光学的な共振器長 $L_{op}$ が変化すれば、ファブリペローモードでは、その共振器波長も変化する。すなわち、その共振器波長も正弦的に変化するようになる。

## 【0037】

このような電流変化に対応した波長変化は、結果的に発振縦モードのスペクトル幅を増大させることになる。図8は、変調周波数信号を重畳しないDFB型半導体レーザ装置の発振縦モードのスペクトル波形と、変調周波数信号が重畳されたこの実施の形態1である半導体レーザ装置の発振縦モードのスペクトル波形とを示す図である。図8(a)は、DFB型半導体レーザ装置に変調周波数信号を重畳しない場合における発振縦モードのスペクトル波形を示し、図8(b)は、変調周波数信号を重畳したこの実施の形態1である半導体レーザ装置の発振縦モードのスペクトル波形を示している。図8(b)に示した発振縦モードのスペクトル幅は、波長変化することによって広がり、しかも図4に示したように、複数の発振縦モードによってエネルギーが分散されるため、同じ光出力エネルギーを

得る場合（図 8（a）と図 8（b））、ピーク値が減少することになる。この結果、複数の発振縦モードの形成と変調周波数信号の重畳とによって、誘導ブリルアン散乱の閾値  $P_{th}$  を相対的に高くすることができる。

#### 【0038】

一般に、図 9 に示すように、変調周波数信号の振幅値を増大すると、各発振縦モードのスペクトル幅は増大し、図 10 に示すように、スペクトル幅が増大すると、誘導ブリルアン散乱の閾値  $P_{th}$  は、光出力に対して増大する。したがって、誘導ブリルアン散乱を低減することができる安定した高い光出力の半導体レーザ装置を実現することができる。

#### 【0039】

ここで、実施の形態 1 に示した半導体レーザ装置が誘導ブリルアン散乱を抑制し、結果的に  $RIN$  を低減できることについて説明する。図 11 は、誘導ブリルアン散乱の発生の程度を検出するための測定装置の構造を示す模式図である。この測定装置では、カップラ 31 を介して一方に半導体レーザ装置 20 と反射光測定手段 33 とが配置され、他方に伝送用光ファイバ 34 と入力光測定手段 35 とが配置されている。また、一方と他方はカップラ 31 を介して互いに接続されており、伝送用光ファイバ 34 は、出力光測定手段 36 に接続されている。なお、伝送用光ファイバ 34 は、非ゼロ分散シフトファイバである  $True\ Wave-RS$  (R) であり、長さは 37 km である。

#### 【0040】

図 11 に示す測定装置において、入力光測定手段 35 には半導体レーザ装置 20 から出力されるレーザ光の強度と一定の比率を有する光が入射し、反射光測定手段 33 には伝送用光ファイバ 34 で散乱されて戻ってきた光の強度と一定の比率を有する光が入射する。

#### 【0041】

ここで、誘導ブリルアン散乱が生じている場合、反射光測定手段 33 に入射する光の強度が増大する。そのため、半導体レーザ装置 20 から伝送用光ファイバ 34 に入射される光と、伝送用光ファイバ 34 で散乱されて戻ってきた光の強度との比（リターンロス）をとることで誘導ブリルアン散乱が生じているか否かの



判断ができる。一般に、光通信における励起光源として半導体レーザ装置を使用する場合には、リターンロスが $-28\text{ dB} \sim -30\text{ dB}$ 程度の値に抑制できれば、レイリー散乱によるバックグラウンドレベルと考えられ、誘導ブリルアン散乱が発生しておらず、励起光源としての使用に支障がないとされている。なお、このレイリー散乱のレベルは、伝送用光ファイバ34の種類などによって変化する値である。

#### 【0042】

図12は、変調度に対するリターンロスの関係の示す図である。図12において、レイリー散乱のレベルは、約 $-30\text{ dB}$ であり、変調度を増加していくに従い、リターンロスが減少し、最終的にはレイリー散乱のレベル以下となり、レイリー散乱のレベルが支配する。図12では、変調度なし（0%）のときにリターンロスは $-10.0\text{ dB}$ であったが、変調度を0.5%にするとリターンロスは $-26.8\text{ dB}$ まで減少し、変調度が1%になった段階でリターンロスは、ほぼレイリー散乱のレベルと同じ $-29.4\text{ dB}$ となり、誘導ブリルアン散乱の影響を全く受けなくなる。さらに変調度を5%にすると、リターンロスは $-29.7\text{ dB}$ であり、この場合においても誘導ブリルアン散乱の影響を受けなくなる。

#### 【0043】

ここで、伝送用光ファイバ34の出力端、すなわち出力光測定手段36側においてRINの測定を行うと、図13に示すような結果が得られた。図13は、変調度を変化させた場合のRINの周波数特性を示している。なお、この場合における半導体レーザ装置の駆動電流Iは $900\text{ mA}$ であり、波長中心 $\lambda_{\text{center}}$ は $1428\text{ nm}$ であり、ピークから $10\text{ dB}$ ダウンの波長幅 $\Delta\lambda_{10\text{dB}}$ は $2.2\text{ nm}$ であり、上述したように伝送用光ファイバ長Lは $37\text{ km}$ である。図13において、無変調の場合、データL1に示すように、低周波領域で大きなRINを呈する。すなわち、 $1\text{ GHz}$ から $0.1\text{ GHz}$ にかけて急激にRINが増大し、やく $-100\text{ dB}$ 程度のRINが $0\text{ Hz}$ 近傍まで存在する。

#### 【0044】

ここで、変調度を増加させ、リターンロスを減少させると、低周波領域のRINが順次減少する。変調度を0.2%（リターンロス $=-15\text{ dB}$ ）にすると、

データ L2 に示すように、低周波領域の R I N はやや減少して  $-105\text{ dB}$  程度になる。さらに、変調度を  $0.5\%$  (リターンロス  $= -27\text{ dB}$ ) にすると、データ L3 に示すように、急激に低周波領域の R I N が減少し、 $-135\text{ dB}$  程度になる。さらに、変調度を  $1\%$  (リターンロス  $= -29\text{ dB}$ ) にすると、データ L4 に示すように、低周波領域の R I N がさらに減少し、 $-140\text{ dB}$  程度になる。さらに、変調度を  $5\%$  (リターンロス  $= -30\text{ dB}$ ) にすると、データ L5 に示すように、低周波領域の R I N がさらに減少し、 $-145\text{ dB}$  程度となり、低周波領域では、測定前におけるデータ L0 とほぼ同じ R I N の値になる。しかも、このとき測定前の R I N は、約  $0.1\text{ GHz}$  近傍で突起形状をなして、R I N が增大しているが、変調することによって、この突起形状をもなくした低い値の R I N を得ることができる。

#### 【0045】

また、このことは、図 14 に示すように、リターンロスを減少させ、誘導ブリルアン散乱を抑制することによって、R I N を減少させることができることを意味する。この点に関しては、後述する実施の形態についても同様であって、図 13 に示す結果を得ることができた。この場合、レイリー散乱のレベルの  $+2\text{ dB}$  程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることが好ましく、さらにレイリー散乱のレベルの  $+1\text{ dB}$  程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることがより好ましい。

#### 【0046】

(実施の形態 2)

つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。上述した実施の形態 1 では、レーザ光を変調することによって誘導ブリルアン散乱を抑制し、結果として R I N を低減するというものであったが、この実施の形態 2 では、半導体レーザ装置のモード本数を増大させることによって誘導ブリルアン散乱を抑制し、R I N を低減しようとするものである。

#### 【0047】

この実施の形態 2 の半導体レーザ装置は、実施の形態 1 に示した半導体レーザ

装置 20 と同じ構成である。ただし、変調信号印加部 22 によるレーザ光の変調は行わない。図 15 に示すように、この実施の形態 2 では、回折格子 13 を有した半導体レーザ装置による発振波長スペクトル 46 の半値幅  $\Delta\lambda_h$  で示される波長選択特性内に、発振縦モードを複数存在させるようにしている。従来の DBR (Distributed Bragg Reflector) 半導体レーザ装置あるいは DFB (Distributed Feedback) 半導体レーザ装置では、共振器長  $L$  を  $800\ \mu\text{m}$  以上とすると、単一発振縦モード発振が困難であったため、かかる共振器長  $L$  を有した半導体レーザ装置は用いられなかった。しかしながら、この実施の形態 2 の半導体レーザ装置では、実施の形態 1 と同様に、共振器長  $L$  を積極的に  $800\ \mu\text{m}$  以上とすることによって、発振波長スペクトル 46 の半値幅  $\Delta\lambda_h$  内に多数の発振縦モードを含ませてレーザ発振するようにしている。

#### 【0048】

つぎに、回折格子 13 によって選択される発振縦モードについて、最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数と、発振波長スペクトル 46 の RMS 法によるスペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  がどのようにして決定されるかについて説明する。基本的には、最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数と、RMS 法のスペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  は主として回折格子 13 の構造によって決定される。

#### 【0049】

まず、回折格子 13 の回折格子長  $L_g$  あるいは結合係数  $\kappa$  を変化させる構造が挙げられる。一般に、回折格子長  $L_g$  が減少するにつれて、発振波長スペクトルの半値幅  $\Delta\lambda_h$  は広くなり、スペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  も増大する。そして、最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数も増大する。所望の発振縦モードを選択するためには、結合係数  $\kappa$  と回折格子長  $L_g$  との積  $\kappa \cdot L_g$  は一定以上の値を有する必要があるものの、その条件下で回折格子長  $L_g$  の値を減少させることで、発振縦モードの本数を増大させ、スペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  を広げることができる。

#### 【0050】

また、回折格子 13 のグレーティング周期を変化させることも有効である。図

16は、回折格子13のグレーティング周期を周期的に変化させたチャープドグレーティングを用いた例について示す。これによって、回折格子の波長選択特性に揺らぎを発生させ、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ を広げて、ひいてはスペクトル幅 $\Delta\lambda_{RMS}$ を拡大させることが可能である。そして、発振波長スペクトル内において最大強度との差分値が10 dB以下である発振縦モードの本数を増大させている。すなわち、図17に示すように、半値幅 $\Delta\lambda_h$ を半値幅 $w_c$ に広げることでスペクトル幅 $\Delta\lambda_{RMS}$ も拡大し、発振縦モードの本数を増大するようにしている。

#### 【0051】

図16に示すように、回折格子13は、平均周期が220 nmであり、 $\pm 0.02$  nmの周期揺らぎ（偏差）を周期Cで繰り返す構造を有している。この $\pm 0.02$  nmの周期揺らぎによって回折格子13の反射帯域は、約2 nmの半値幅を有し、これによって、最大強度との差分値が10 dB以下である発振縦モードの本数を増大させることができる。

#### 【0052】

また、図16の例では、一定の周期Cでグレーティング周期を変化させるチャープドグレーティングとしたが、これに限らず、グレーティング周期を、周期 $\Lambda_1$  ( $220\text{ nm} + 0.02\text{ nm}$ ) と周期 $\Lambda_2$  ( $220\text{ nm} - 0.02\text{ nm}$ ) との間で、ランダムに変化させるようにしてもよい。

#### 【0053】

さらに、図18 (a) に示すように、周期 $\Lambda_1$ と周期 $\Lambda_2$ とを1回ずつ交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、図18 (b) に示すように、周期 $\Lambda_3$ と周期 $\Lambda_4$ とをそれぞれ複数回、交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。さらに、図18 (c) に示すように、連続する複数回の周期 $\Lambda_5$ と連続する複数回の周期 $\Lambda_6$ とをもつ回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、周期 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_3$ 、 $\Lambda_5$ と周期 $\Lambda_2$ 、 $\Lambda_4$ 、 $\Lambda_6$ との間の離散的な異なる値をもつ周期をそれぞれ補完して配置するようにしてもよい。

#### 【0054】

このように回折格子 13 の構造等を調整することで最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数および複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルの RMS 法によるスペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  の値を変化させることができる。図 19 ～ 図 21 は、実際に回折格子 13 の構造等を調整して発振縦モードの数およびスペクトル幅  $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$  の値を変化させた半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。図 19 においては、最大強度を有する発振縦モードが 1457.5 nm 付近に存在し、その光強度は -16 dB 程度である。そして、最大強度との差分値が 10 dB 以下、すなわち図 19 のグラフにおいて約 -26 dB 以上の光強度を有する発振縦モードの本数は 14 本となる。

#### 【0055】

図 20 は、回折格子 13 が図 21 とは異なる構造を有する半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。最大強度を有する発振縦モードは 1459.5 nm 付近に存在し、その光強度は約 -18 dB である。そして、最大強度との差分値が 10 dB 以下、すなわち図 20 のグラフにおいて約 -28 dB 以上の光強度を有する発振縦モードの本数は 20 本となる。

#### 【0056】

なお、比較例として図 21 に 10 本未満の発振縦モードを有する半導体レーザ装置の発振波形を示す。図 21 において最大強度を有する発振縦モードは 1429 nm 付近に存在し、その光強度は約 -10 dB である。したがって、最大強度との差分値が 10 dB 以下、すなわち図 21 のグラフにおいて -20 dB 以上の光強度を有する発振縦モードの本数は 6 本となる。

#### 【0057】

つぎに、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が 10 dB 以下となる発振縦モードの本数および発振波長スペクトルの RMS 法のスペクトル幅と、誘導ブリルアン散乱との相関関係を調べ、この実施の形態 2 の半導体レーザ装置が誘導ブリルアン散乱の発生を抑制でき、RIN を低減できることを示す。具体的には、図 11 に示した測定装置を用いて複数の半導体レーザ装置についてリターンロスの測定をおこなっている。

#### 【0058】

ここで、複数の半導体レーザ装置 A～G について、半導体レーザ装置の温度を変化させてリターンロスの測定をおこなった。なお、半導体レーザ装置の温度はそれぞれ 5℃、15℃、25℃、35℃、45℃に変化させた上で測定をおこなっている。図 22 は、この測定における最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数とリターンロスとの関係を示す図である。なお、同一半導体レーザ装置について発振縦モードの本数が変化しているのは温度変化の影響によるものである。半導体レーザ装置の温度は発振縦モードの本数に影響を与えるものの、リターンロスとの直接的な関係においては温度変化による影響はほとんどない。具体的には、いずれの温度であっても最大強度との差分値が 10 dB 以下である発振縦モードの本数が 10 本以上であればリターンロスは -13 dB よりも低い値となり、発振縦モードの本数が 18 本以上であればリターンロスは -28 dB 以下の値となる。

#### 【0059】

ここで、図 22 では、レイリー散乱のレベルは、-28 dB である。したがって、発振縦モードが 18 本以上であれば、誘導ブリルアン散乱を抑制することができ、図 13 に示したリターンロスに対応して RIN を低減できる。この場合、実施の形態 1 と同様に、レイリー散乱のレベルの +2 dB 程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることが好ましく、さらにレイリー散乱のレベルの +1 dB 程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることがより好ましい。

#### 【0060】

(実施の形態 3)

つぎに、この発明の実施の形態 3 について説明する。上述した実施の形態 1 では、レーザ光を変調することによって誘導ブリルアン散乱を抑制して RIN を低減するようにし、また実施の形態 2 では、モード本数を増大させて誘導ブリルアン散乱を抑制して RIN を低減するようにしていたが、この実施の形態 3 では、半導体レーザ装置から出力されたレーザ光を減衰させることによって誘導ブリルアン散乱を抑制し、結果的に RIN を低減しようとするものである。

#### 【0061】

図 23 は、実施の形態 3 にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。図 23 において、この半導体レーザモジュール 50 は、半導体レーザ装置 20 に対応する半導体レーザ装置 51 を有する。半導体レーザモジュール 50 の筐体として、Cu-W 合金などによって形成されたパッケージ 59 の内部底面上に、温度制御装置としてのペルチェモジュール 58 が配置される。ペルチェモジュール 58 上にはベース 57 が配置され、このベース 57 上にはヒートシンク 57a が配置される。

#### 【0062】

ペルチェモジュール 58 には、図示しない電流が与えられ、その極性によって冷却および加熱を行なうが、半導体レーザ装置 51 の温度上昇による発振波長ずれを防止するため、主として冷却器として機能する。すなわち、ペルチェモジュール 58 は、レーザ光が所望の波長に比して長い波長である場合には、冷却して低い温度に制御し、レーザ光が所望の波長に比して短い波長である場合には、加熱して高い温度に制御する。この温度制御は、具体的に、ヒートシンク 57a 上であって、半導体レーザ装置 51 の近傍に配置されたサーミスタ 58a の検出値をもとに制御され、図示しない制御装置は、通常、ヒートシンク 57a の温度が一定に保たれるようにペルチェモジュール 58 を制御する。

#### 【0063】

また、図示しない制御装置は、半導体レーザ装置 51 の駆動電流を上昇させるに従って、ヒートシンク 57a の温度が下がるようにペルチェモジュール 58 を制御する。このような温度制御を行なうことによって、半導体レーザ装置 51 の波長安定性を向上させることができ、歩留まりの向上にも有効となる。なお、ヒートシンク 57a は、例えばダイヤモンドなどの高熱伝導率をもつ材質によって形成することが望ましい。これは、ヒートシンク 57a がダイヤモンドで形成されると、高電流注入時の発熱が抑制されるからである。この場合、波長安定性がさらに向上し、しかも温度制御も容易になる。

#### 【0064】

ベース 57 上には、半導体レーザ装置 51 およびサーミスタ 58a を配置したヒートシンク 57a、第 1 レンズ 52、およびモニタフォトダイオード 56 が配

置される。半導体レーザ装置 51 から出射されたレーザ光は、第 1 レンズ 52、アイソレータ 53、および第 2 レンズ 54 を介し、光ファイバ 55 上に導波される。なお、モニタフォトダイオード 56 は、半導体レーザ装置 51 の反射膜側から漏れた光をモニタ検出する。

#### 【0065】

ここで特に、この実施の形態 3 にかかる半導体レーザモジュールの特徴となる点は、第 2 レンズ 54 の光学中心が、第 1 レンズ 52 およびアイソレータ 53 を介して半導体レーザ装置 51 から出射されたレーザ光の光軸に対して、図示する矢印 X、Y、Z のいずれかの方向にずれていることである。ここで、X 方向は、半導体レーザモジュール 50 の高さ方向（紙面上下方向）を指し、Y 方向は、半導体レーザモジュール 50 の幅方向（紙面垂直方向）を指し、Z 方向は、半導体レーザモジュール 50 の長手方向（紙面左右方向）を指す。すなわち、この半導体レーザモジュール 50 は、いわゆるデフォーカスを意図的に行なっている。換言すれば、第 2 レンズ 54 と光ファイバ 55 との光結合効率を意図的に小さくしている。なお、結合の信頼の観点から、結合ずれに対するトレランスは Z 方向の方が大きい、その方向にずらすのがより好ましい。

#### 【0066】

このデフォーカスによって、半導体レーザ装置 51 に十分に大きな駆動電流が印加された状態であっても、第 2 レンズ 54 と光結合される光ファイバ 55 には、半導体レーザ装置 51 が出射するレーザ光の強度よりも小さな強度のレーザ光が伝播する。

#### 【0067】

よって、この半導体レーザモジュールは、半導体レーザ装置 51 の駆動電流を大きくした状態で、レーザ光としては強度の小さなものを出力することができることになる。これは、上述したように、前方励起方式の励起光源として用いられる最適な条件、すなわち、駆動電流を大きくして R I N の悪化を防ぎつつ、小さな強度の励起光が得られるという条件を満たす。

#### 【0068】

ここで、図 24 は、デフォーカスによる減衰率に対応したリターンロスとの関



係を示している。リターンロスは、図 11 に示した測定装置を用いて測定している。また、減衰率は、減衰がない場合のリターンロス  $-11\text{ dB}$  を基準にした値である。図 24 に示すように、減衰率が  $-3\text{ dB}$  以上となった場合にリターンロスは  $-28\text{ dB}$  以下となり、誘導ブリルアン散乱が抑制される。ここで、レイリー散乱のレベルは  $-30\text{ dB}$  である。

#### 【0069】

すなわち、この実施の形態 3 においても、デフォーカスによる減衰率の増大によって、実施の形態 1, 2 と同様に、リターンロスが減少し、誘導ブリルアン散乱を抑制し、結果的に図 13 に示すようにリターンロスに対応した RIN の低減を図ることができる。この場合、実施の形態 1, 2 と同様に、レイリー散乱のレベルの  $+2\text{ dB}$  程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることが好ましく、さらにレイリー散乱のレベルの  $+1\text{ dB}$  程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることがより好ましい。

#### 【0070】

なお、光結合効率の意図的な低下は、上記した第 2 レンズ 54 に限らず、モジュール内の他の光学系レンズや光学部品の配置を調節することによっても可能である。

#### 【0071】

(実施の形態 4)

つぎに、この発明の実施の形態 4 について説明する。上述した実施の形態 3 に示した半導体レーザモジュールでは、意図的にデフォーカスを行なうことで、レーザ光の強度を小さくするとしたが、この実施の形態 4 では、デフォーカスを行わずに、半導体レーザモジュールの出力端部または光ファイバを介した半導体レーザモジュールの出力端近傍に、光減衰器を設けるようにしている。

#### 【0072】

図 25 は、この発明の実施の形態 4 である半導体レーザモジュールの概略構成を示すブロック図である。図 25 において、デフォーカスを行なわない半導体レーザモジュール 50a は、その出力端を光ファイバ 55a の一端に接続し、光フ

ファイバ 55 a の他端は、光減衰器（光アッテネータ） 50 b の入力端に接続され、光減衰器 50 b の出力端は、光ファイバ 55 b の一端に接続される。

#### 【0073】

すなわち、半導体レーザモジュール 50 a から出力されたレーザ光の出力パワーは、光減衰器 50 b において減衰され、減衰された結果がラマン増幅器の励起光として寄与する。

#### 【0074】

この実施の形態 4 においても、減衰率の増大によって、実施の形態 1～3 と同様に、リターンロスが減少し、誘導ブリルアン散乱を抑制し、結果的に図 13 に示すようにリターンロスに対応した R I N の低減を図ることができる。この場合、実施の形態 1～3 と同様に、レイリー散乱のレベルの +2 dB 程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることが好ましく、さらにレイリー散乱のレベルの +1 dB 程度大きい値のリターンロスのレベルを、誘導ブリルアン散乱が抑制されるしきい値とすることがより好ましい。

#### 【0075】

この実施の形態 4 では、レーザの結合状態を従来と変えないままで、最終的な出力を光減衰器で落とすため、実施の形態 3 と同様な効果を享受することができるとともに、半導体レーザを発振するモジュール部分を共有化できる。

#### 【0076】

（実施の形態 5）

次に、この発明の実施の形態 5 について説明する。この実施の形態 5 では、上述した実施の形態 1，2 に示した半導体レーザ装置をモジュール化した半導体レーザモジュールあるいは実施の形態 3，4 に示した半導体レーザモジュールをラマン増幅器に適用したものである。

#### 【0077】

図 26 は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図 26 において、アイソレータ 63 の近傍に設けられた WDM カプラ 65 には、上述した実施の形態 1，2 に示した半導体レーザ装置をモジュール化した

半導体レーザモジュールあるいは実施の形態 3, 4 に示した半導体レーザモジュールに対応する半導体レーザモジュール 60a' ~ 60d'、偏波合成カップラ 61a', 61b' および WDM カップラ 62' を有した回路が接続され、WDM カップラ 62' から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行なう。この場合、半導体レーザモジュール 60a' ~ 60d' は、上述した実施の形態 1, 2 に示した半導体レーザ装置をモジュール化した半導体レーザモジュールあるいは実施の形態 3, 4 に示した半導体レーザモジュールに対応した半導体レーザモジュールを用いているため、結果的に R I N が低減された状態で前方励起を効果的に行なうことができる。

#### 【0078】

また、図 27 は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。なお、図 27 において、図 26 と共通する部分には同一の符号を付してその説明を省略する。図 27 に示したラマン増幅器は、図 26 に示したラマン増幅器の構成に、WDM カップラ 62、半導体レーザモジュール 60a ~ 60d および偏波合成カップラ 61a, 61b をさらに設け、後方励起と前方励起とを行なう。但し、後方励起を行なうための半導体レーザモジュール 60a ~ 60d については、特に上述した実施の形態 1 ~ 4 に示した半導体レーザ装置あるいは半導体レーザモジュールを用いなくてもよい。

#### 【0079】

各半導体レーザモジュール 60a, 60b は、偏波面保持ファイバ 71 を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カップラ 61a に出力し、各半導体レーザモジュール 60c, 60d は、偏波面保持ファイバ 71 を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カップラ 61b に出力する。ここで、半導体レーザモジュール 60a, 60b が発振するレーザ光は、同一波長である。また、半導体レーザモジュール 60c, 60d が発振するレーザ光は、同一波長であるが半導体レーザモジュール 60a, 60b が発振するレーザ光の波長とは異なる。これは、ラマン増幅が偏波依存性を有するためであり、偏波合成カップラ 61a, 61b によって偏波依存性が解消されたレーザ光として出力するようにしている。

**【0080】**

各偏波合成カップラ 61a, 61b から出力された異なる波長をもったレーザ光は、WDM カップラ 62 によって合成され、合成されたレーザ光は、WDM カップラ 65 を介してラマン増幅用の励起光として増幅用ファイバ 64 に出力される。この励起光が入力された増幅用ファイバ 64 には、増幅対象の信号光が入力され、ラマン増幅される。

**【0081】**

この双方向励起方式の場合にも、半導体レーザモジュール 60a' ~ 60d' は、上述した実施の形態 1 で説明した半導体レーザ装置を用いているため、結果的に RIN が低減された状態で前方励起を効果的に行なうことができる。

**【0082】**

上述した図 26 または図 27 に示したラマン増幅器は、上述したように WDM 通信システムに適用することができる。図 28 は、図 26 または図 27 に示したラマン増幅器を適用した WDM 通信システムの概要構成を示すブロック図である。

**【0083】**

図 28 において、複数の送信機 Tx1 ~ Txn から送出された波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光信号は、光合波器 80 によって合波され、1つの光ファイバ 85 に集約される。この光ファイバ 85 の伝送路上には、図 26 または図 27 に示したラマン増幅器に対応した複数のラマン増幅器 81, 83 が距離に応じて配置され、減衰した光信号を増幅する。この光ファイバ 85 上を伝送した信号は、光分波器 84 によって、複数の波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光信号に分波され、複数の受信機 Rx1 ~ Rxn に受信される。なお、光ファイバ 85 上には、任意の波長の光信号を付加し、取り出したりする ADM (Add/Drop Multiplexer) が挿入される場合もある。

**【0084】**

なお、上述した実施の形態 5 では、実施の形態 1, 2 に示した半導体レーザ装置あるいは実施の形態 3, 4 に示した半導体レーザモジュールを、ラマン増幅用の励起光源に用いる場合を示したが、これに限らず、たとえば、980nm, 1480nm などの EDFA 励起用光源として用いることができるのは明らかであ

る。

#### 【0085】

なお、上述した実施の形態では、活性層近傍の一部領域に回折格子13を設け、あるいは活性層近傍の全領域に揺らぎをもった回折格子を設け、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置をもとに説明したが、これに限らず、マルチモードレーザであればよく、たとえば、ファブリペロ型レーザであってもよい。また、実施の形態2を除き、DFBレーザなどのシングルモードレーザにも適用することは可能である。

#### 【0086】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、前記変調手段が、前記レーザ光の変調によって、たとえば変調度1%の変調を行って、レイリー散乱レベルに2dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、または回折格子による前記高出力発振縦モードの選択本数によって、たとえば高出力発振縦モードを18本以上とすることによって、レイリー散乱レベルに2dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、または、光結合レンズ系が、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合効率が最大となる位置からずれた状態で前記半導体レーザ装置と前記光ファイバとの光結合を行い、前記光結合効率の減衰によってレイリー散乱レベルに2dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、または、光減衰器の減衰によってレイリー散乱レベルに2dB加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与えることによって、伝送後のRINを低減することができるという効果を奏する。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

この発明の実施の形態1である半導体レーザ装置を斜めからみた破断図である。

#### 【図2】

この発明の実施の形態1である半導体レーザ装置の構成を示す長手方向の縦断

面図である。

【図 3】

図 2 に示した半導体レーザ装置の A-A 線断面図である。

【図 4】

図 1 に示した半導体レーザ装置の発振波長スペクトルと発振縦モードとの関係を示す図である。

【図 5】

バイアス電流に変調周波数信号を重畳した場合における光出力の時間変化を示す図である。

【図 6】

電流－光出力特性を用いて重畳信号が印加された場合における光出力変化を示す図である。

【図 7】

バイアス電流に変調周波数信号を重畳した場合における駆動電流の時間変化を示す図である。

【図 8】

重畳信号が印加され、かつ共振器長に対して部分的に回折格子が設けられた場合に誘導ブリルアン散乱の閾値が相対的に上昇することを示す図である。

【図 9】

重畳信号を印加した場合における変調周波数信号振幅に対する発振縦モードのスペクトル幅の変化を示す図である。

【図 10】

発振縦モードのスペクトル幅に対する誘導ブリルアン散乱の閾値の変化を示す図である。

【図 11】

誘導ブリルアン散乱の発生の程度の検出および R I N の測定をするための測定装置の構成を示す模式図である。

【図 12】

この発明の実施の形態 1 における変調度に対するリターンロスの関係を示す図

である。

【図 1 3】

この発明の実施の形態 1 における変調度あるいはリターンロスパラメータとして R I N の周波数特性を示す図である。

【図 1 4】

R I N のリターンロス依存性を示す図である。

【図 1 5】

この発明の実施の形態 2 である半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図 1 6】

この発明の実施の形態 2 における回折格子の構造の一例を示す図である。

【図 1 7】

この発明の実施の形態 2 である半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図 1 8】

この発明の実施の形態 2 における回折格子の構造の他の一例を示す図である。

【図 1 9】

発振縦モードの最大強度に対する差分値が 10 dB 以下となる発振縦モードの本数が 14 本となる半導体レーザ装置の発振波形を示す図である。

【図 2 0】

発振縦モードの最大強度に対する差分値が 10 dB 以下となる発振縦モードの本数が 20 本となる半導体レーザ装置の発振波形を示す図である。

【図 2 1】

発振縦モードの最大強度に対する差分値が 10 dB 以下となる発振縦モードの本数が 6 本となる半導体レーザ装置の発振波形を示す図である。

【図 2 2】

半導体レーザ装置の温度を変化させた場合の発振縦モードの最大強度に対する差分値が 10 dB 以下となる発振縦モードの本数とリターンロスとの関係を示す図である。

**【図 2 3】**

この発明の実施の形態 3 である半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

**【図 2 4】**

デフォーカスによる減衰率とリターンロスとの関係を示す図である。

**【図 2 5】**

この発明の実施の形態 4 である半導体レーザモジュールの概要構成を示す図である。

**【図 2 6】**

前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

**【図 2 7】**

双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

**【図 2 8】**

図 2 6 または図 3 7 に示したラマン増幅器を用いた WDM 通信システムの概要構成を示すブロック図である。

**【符号の説明】**

- 1    n-I n P 基板
- 2    n-I n p バッファ層
- 3    G R I N-S C H-M Q W 活性層
- 4    p-I n P スペーサ層
- 6    p-I n P クラッド層
- 7    p-I n G a A s P コンタクト層
- 8    p-I n P ブロッキング層
- 9    n-I n P ブロッキング層
- 10   p 側電極
- 11   n 側電極
- 13   回折格子
- 14   反射膜
- 15   出射側反射膜

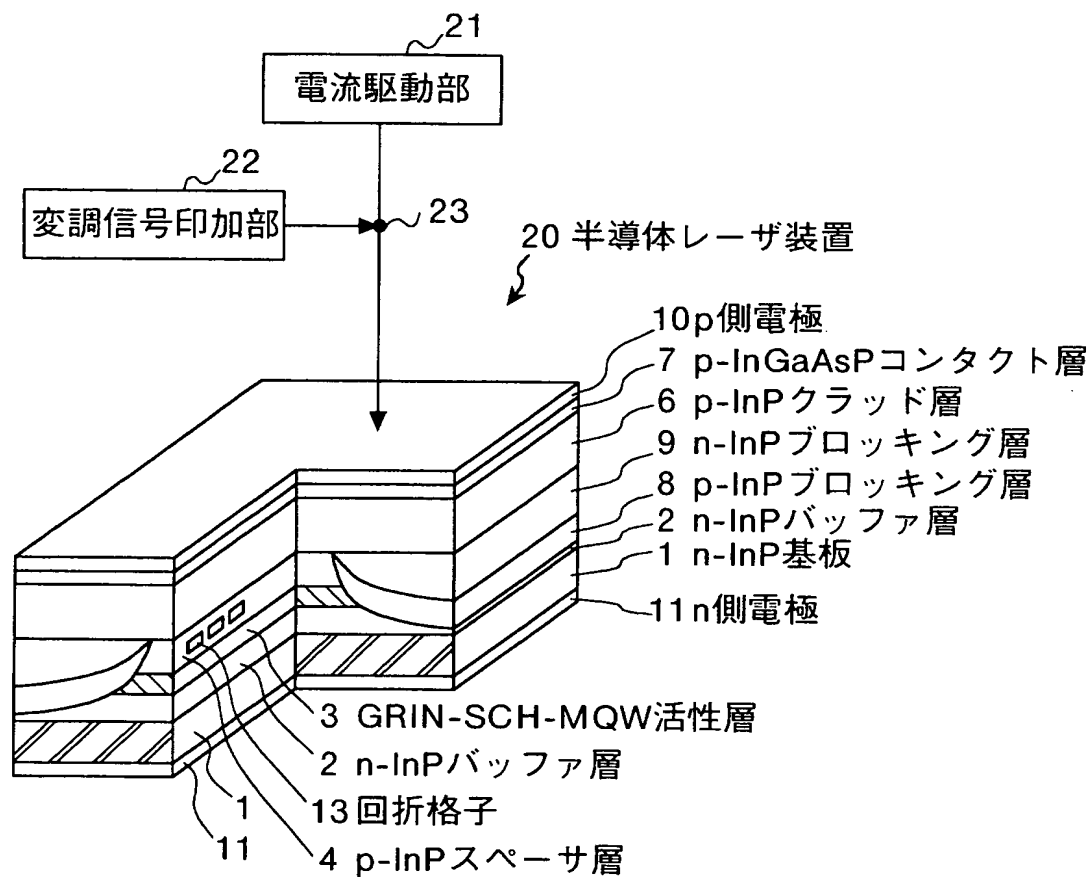


- 20 半導体レーザ装置
- 21 電流駆動部
- 22 変調信号印加部
- 23 接続点
- 30, 46 発振波長スペクトル
- 31a~31c, 47~49 発振縦モード
- 31 カプラ
- 33 反射光測定手段
- 34 伝送用光ファイバ
- 35 入力光測定手段
- 36 出力光測定手段
- 45 複合発振波長スペクトル
- 50, 60a~60d, 60a'~60d' 半導体レーザモジュール
- 50a 光減衰器
- 52 第1レンズ
- 53, 63, 66 アイソレータ
- 54 第2レンズ
- 55 光ファイバ
- 56 モニタフォトダイオード
- 57 ベース
- 57a ヒートシンク
- 58 ペルチェモジュール
- 58a サーミスタ
- 59 パッケージ
- 61a, 61b, 61a', 61b' 偏波合成カプラ
- 62, 65, 62', 65' WDMカプラ
- 64 増幅用ファイバ
- 67 モニタ光分配用カプラ
- 68 制御回路

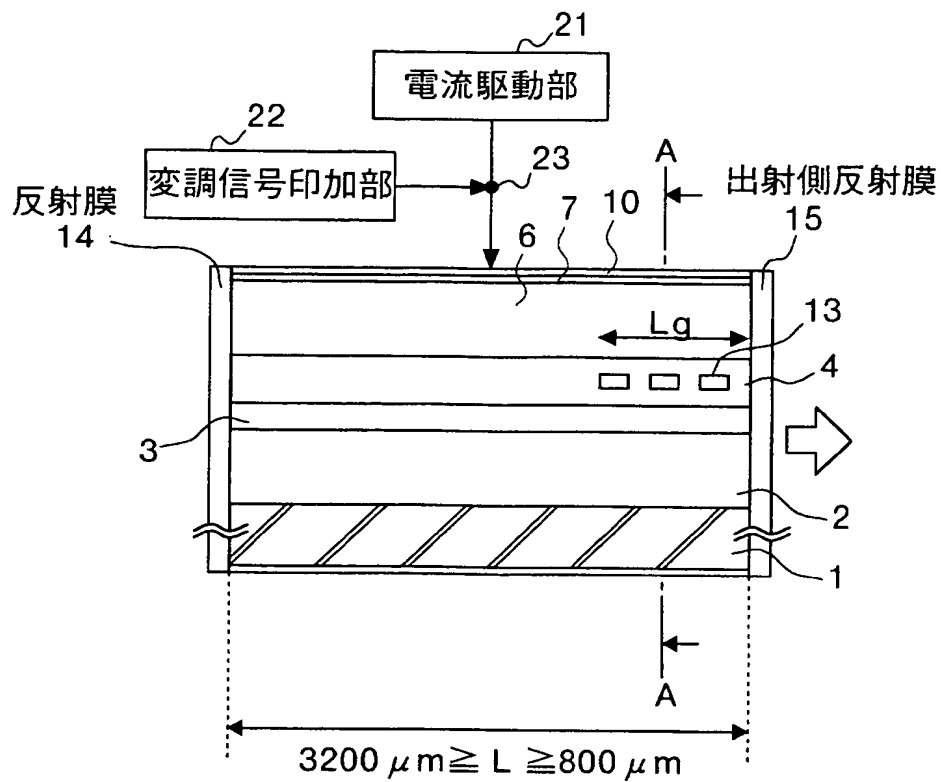
- 6 9 信号光入力ファイバ
- 7 0 信号光出力ファイバ
- 7 1 偏波面保持ファイバ
- 8 1, 8 3 ラマン増幅器

【書類名】 図面

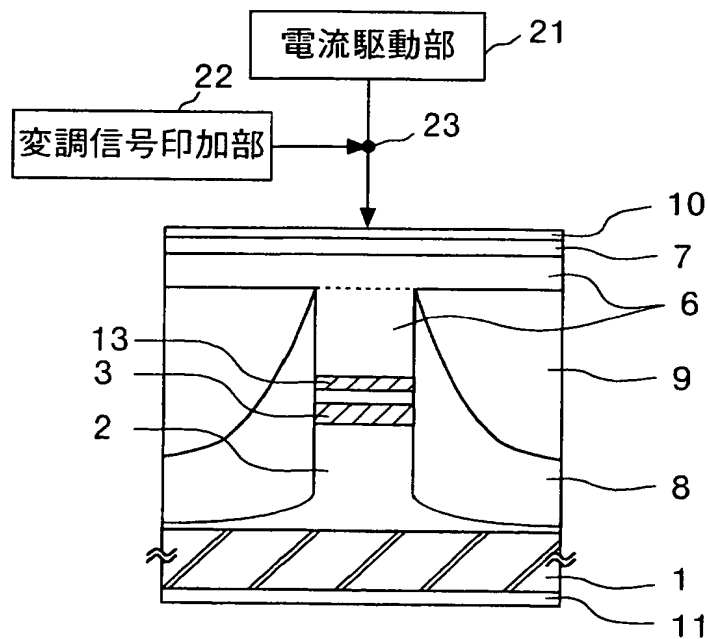
【図 1】



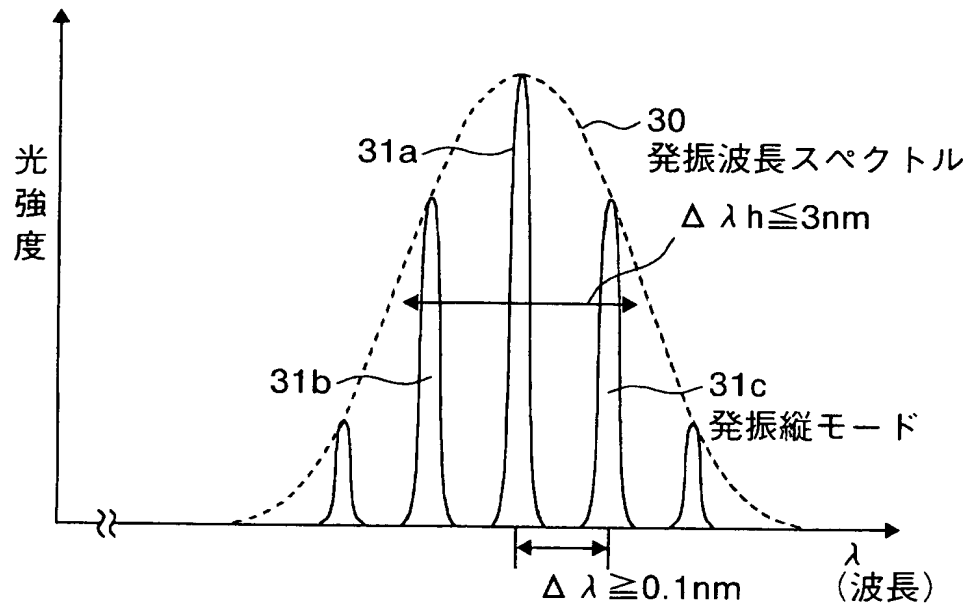
【図 2】



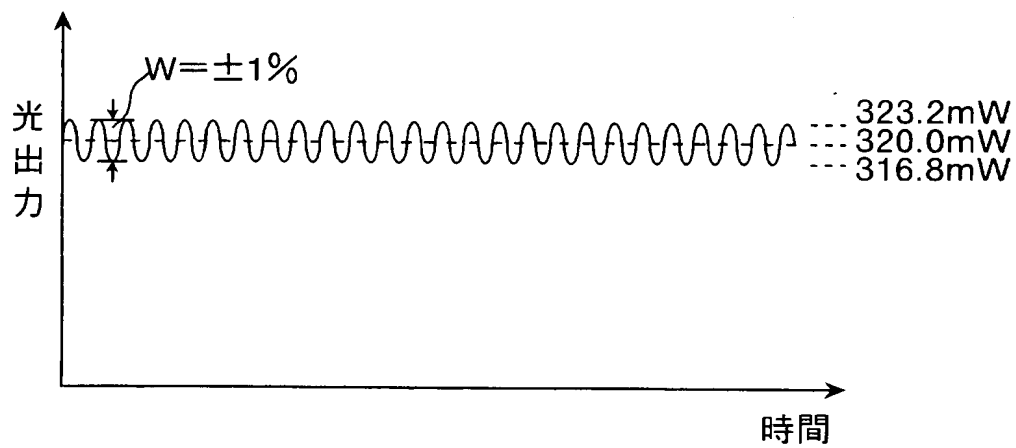
【図 3】



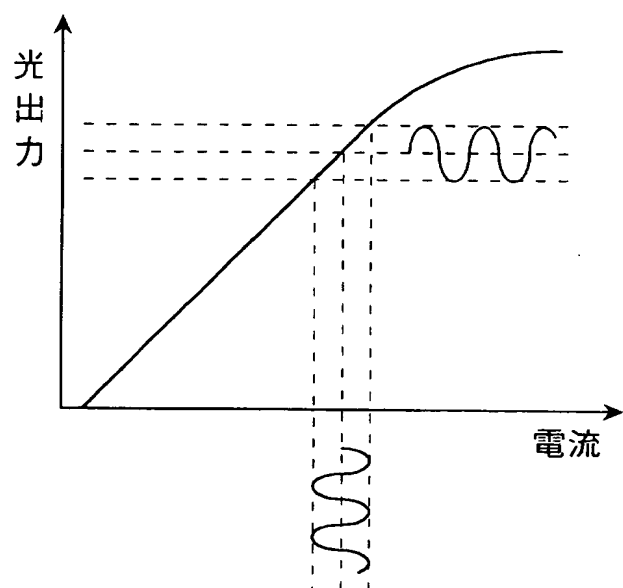
【図 4】



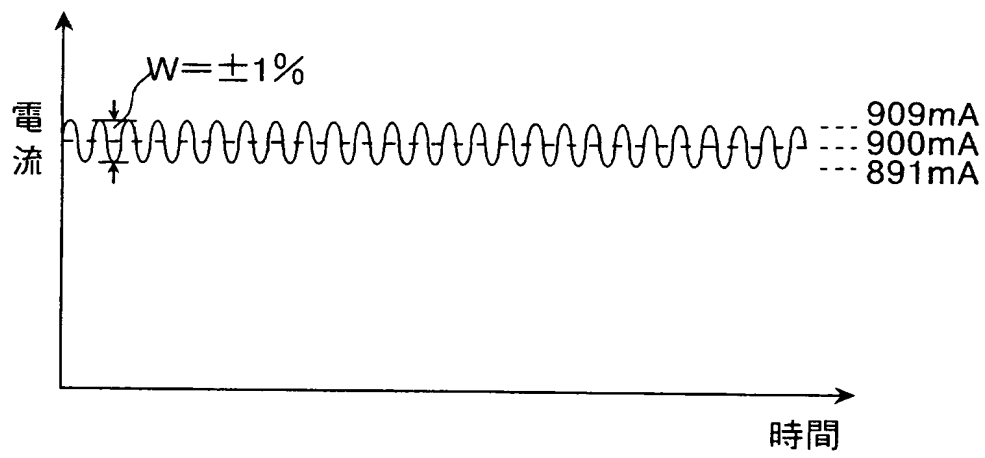
【図 5】



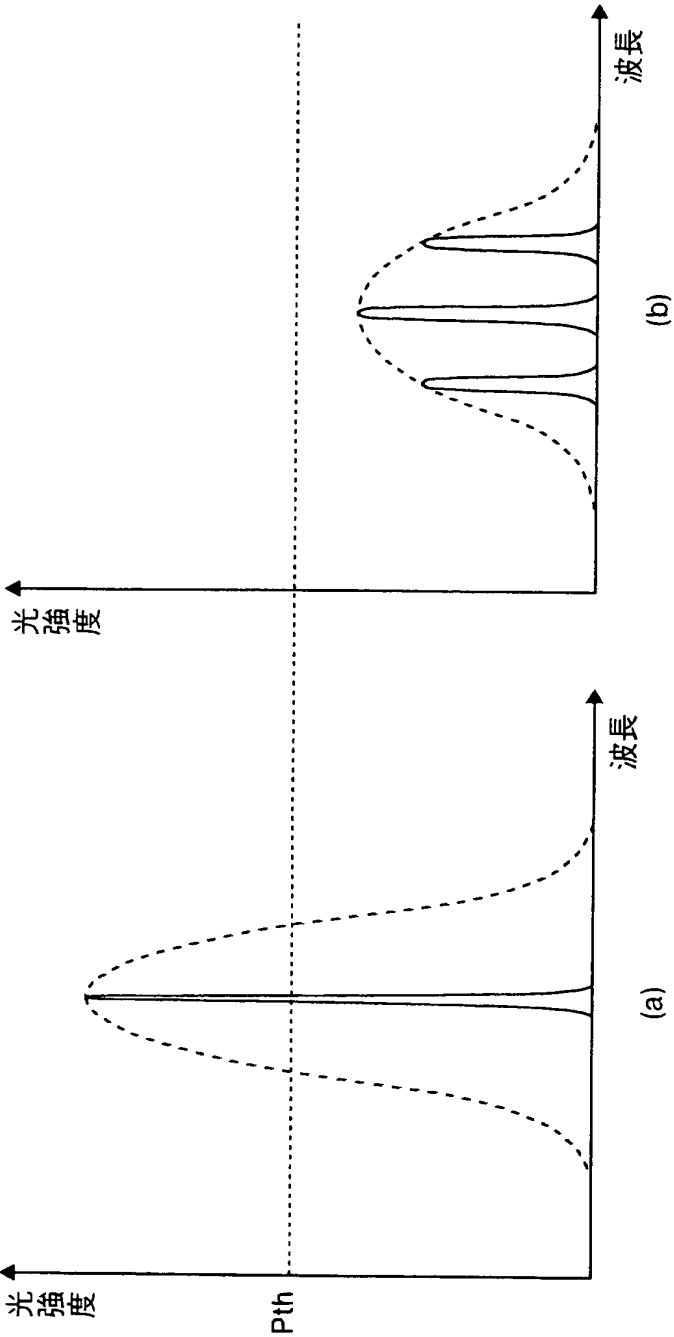
【図 6】



【図 7】

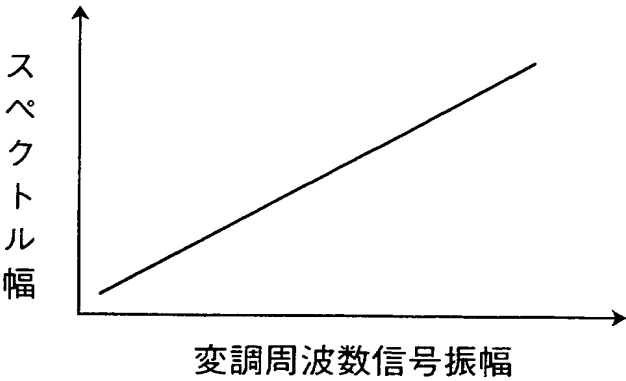


【図 8】

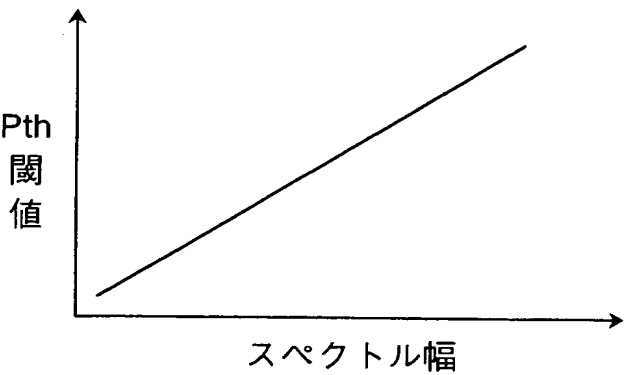




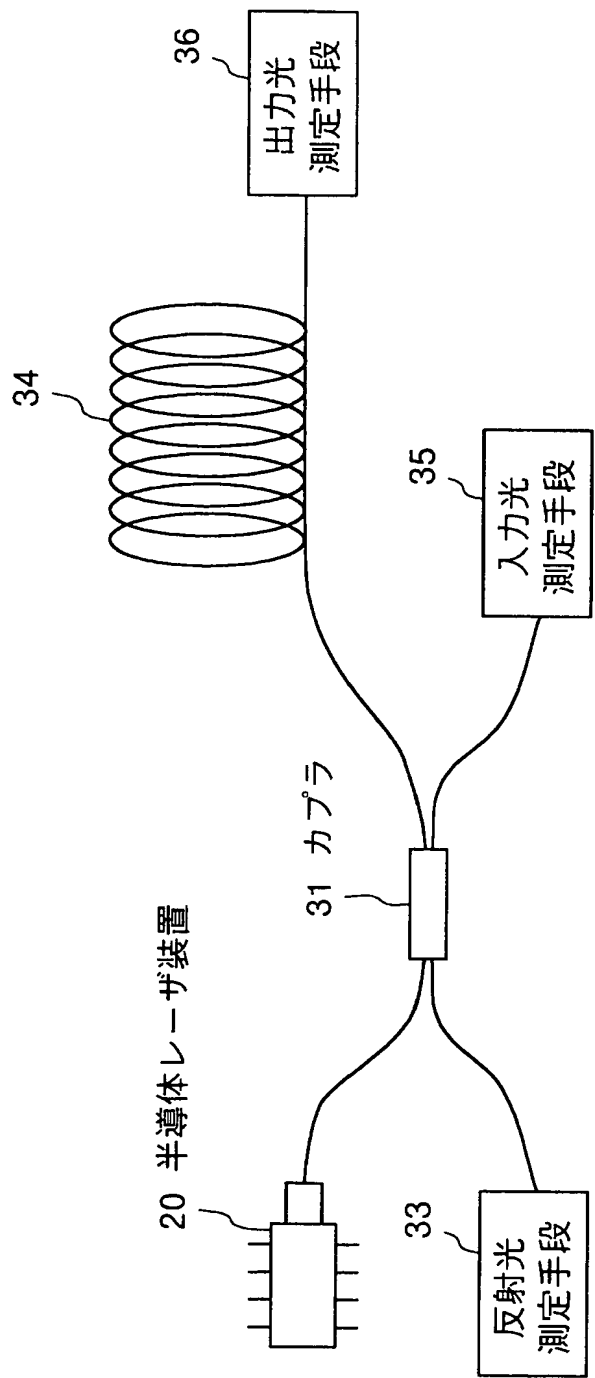
【図 9】



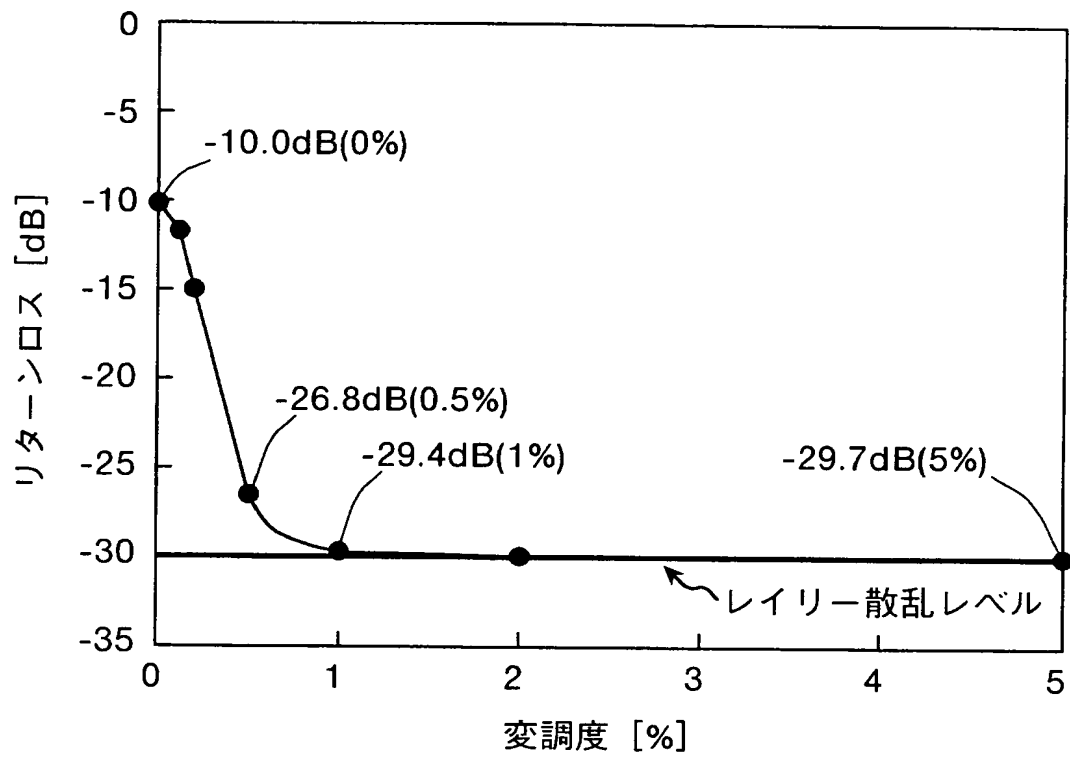
【図 1 0】



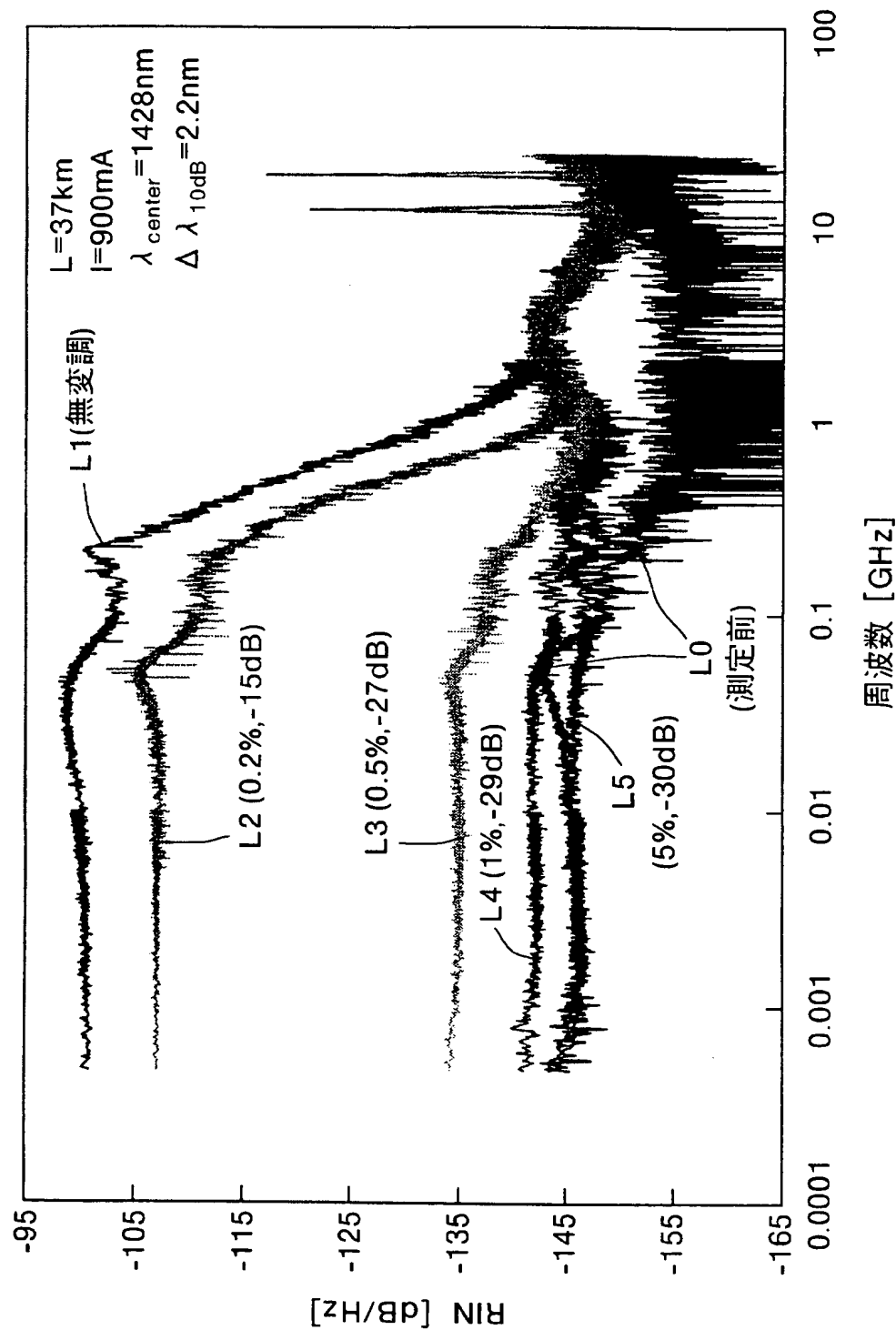
【図 11】



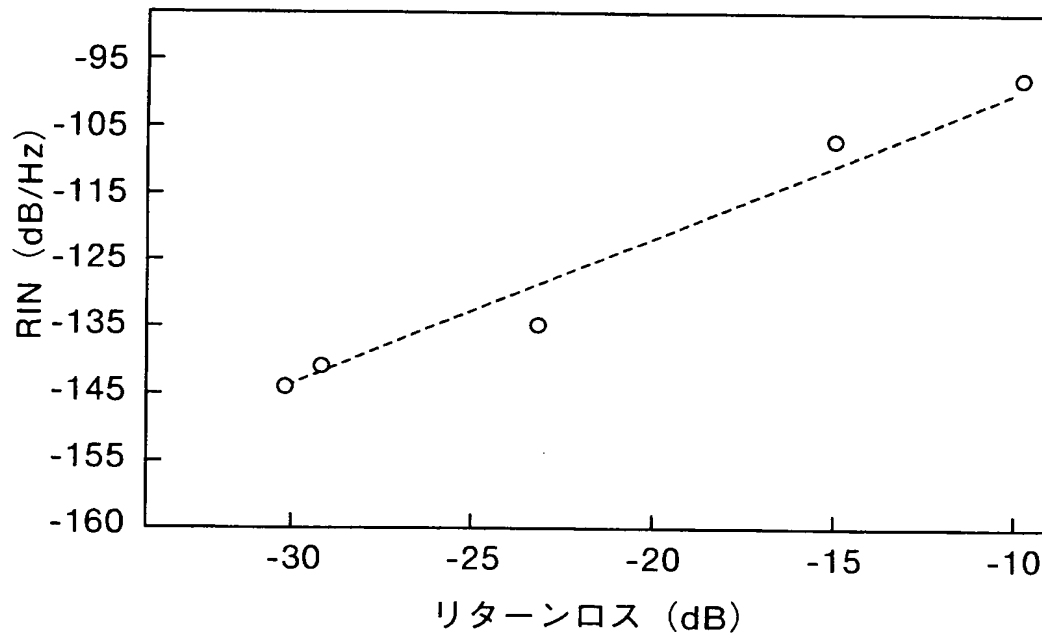
【図 12】



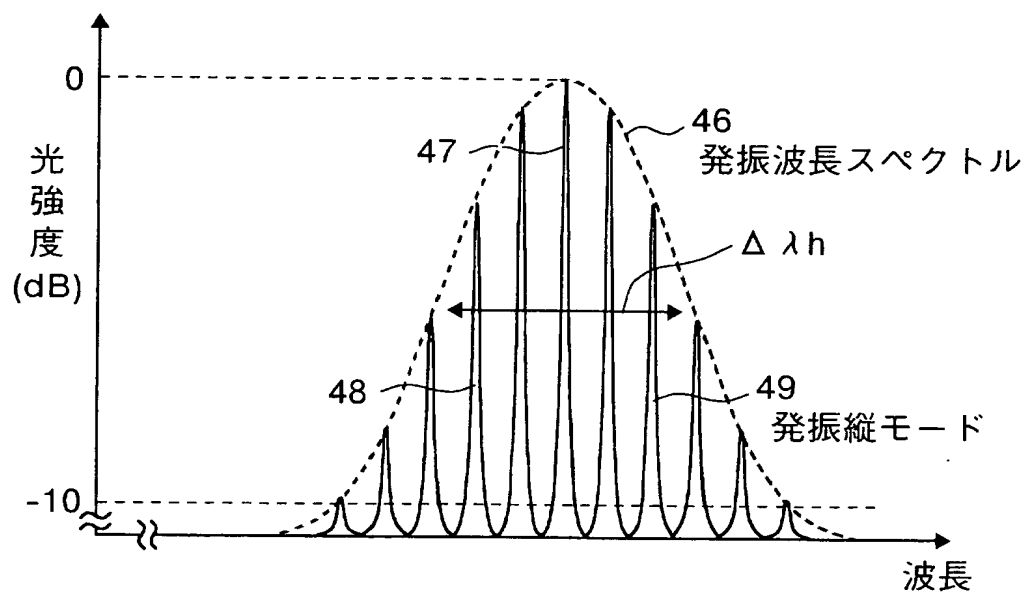
【図 13】



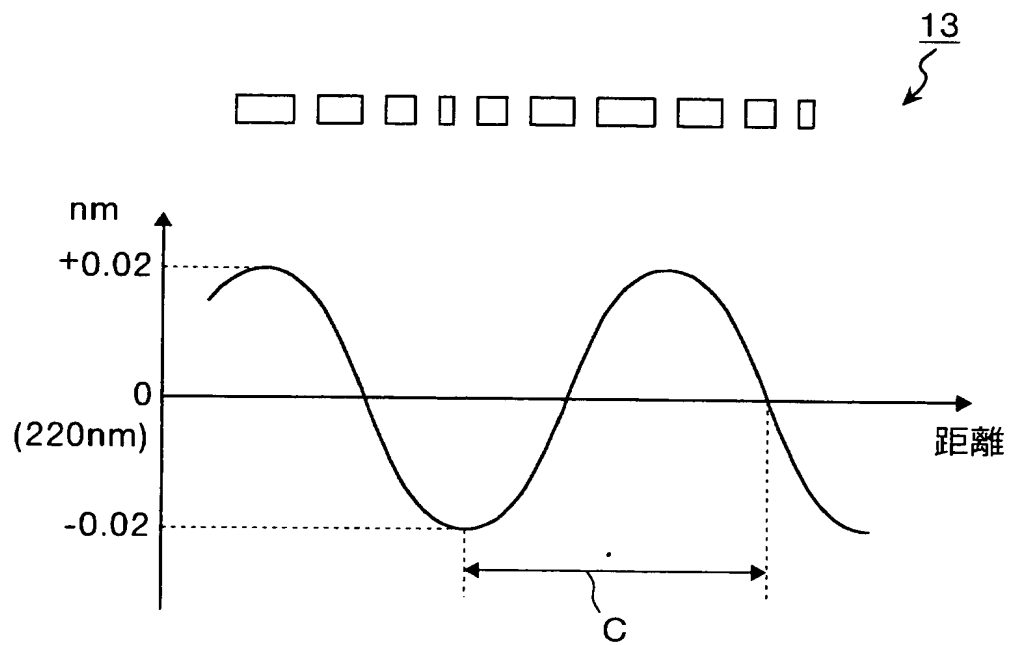
【図 14】



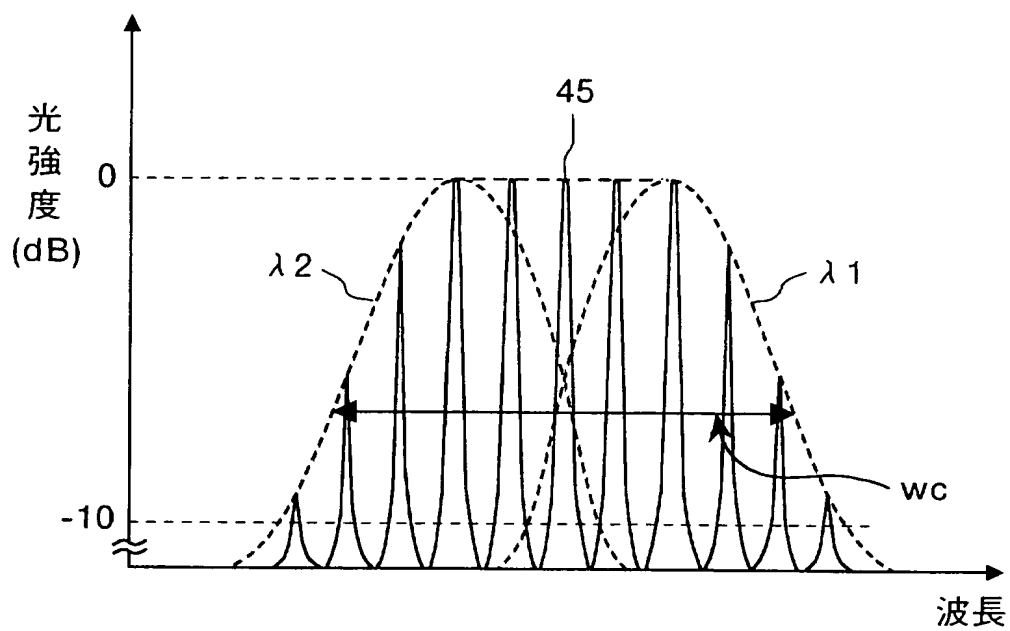
【図 15】



【図 16】

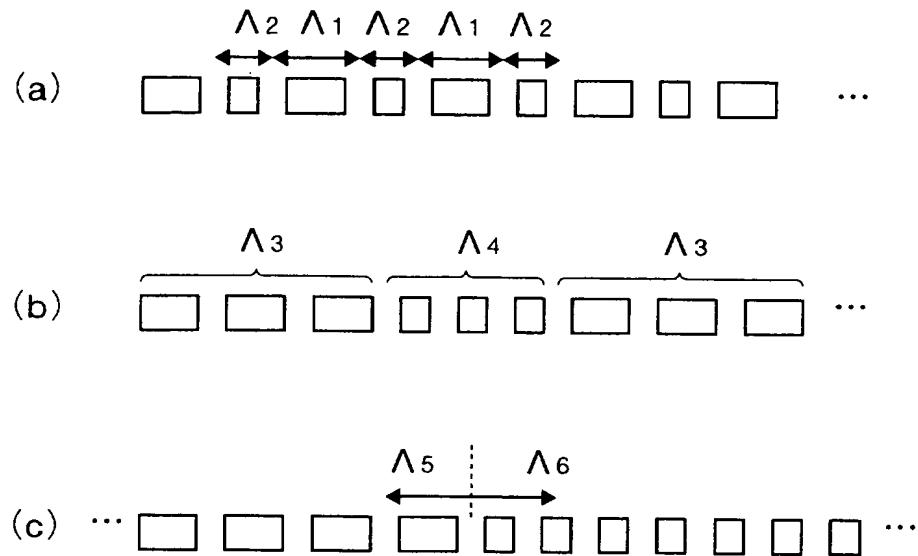


【図 17】

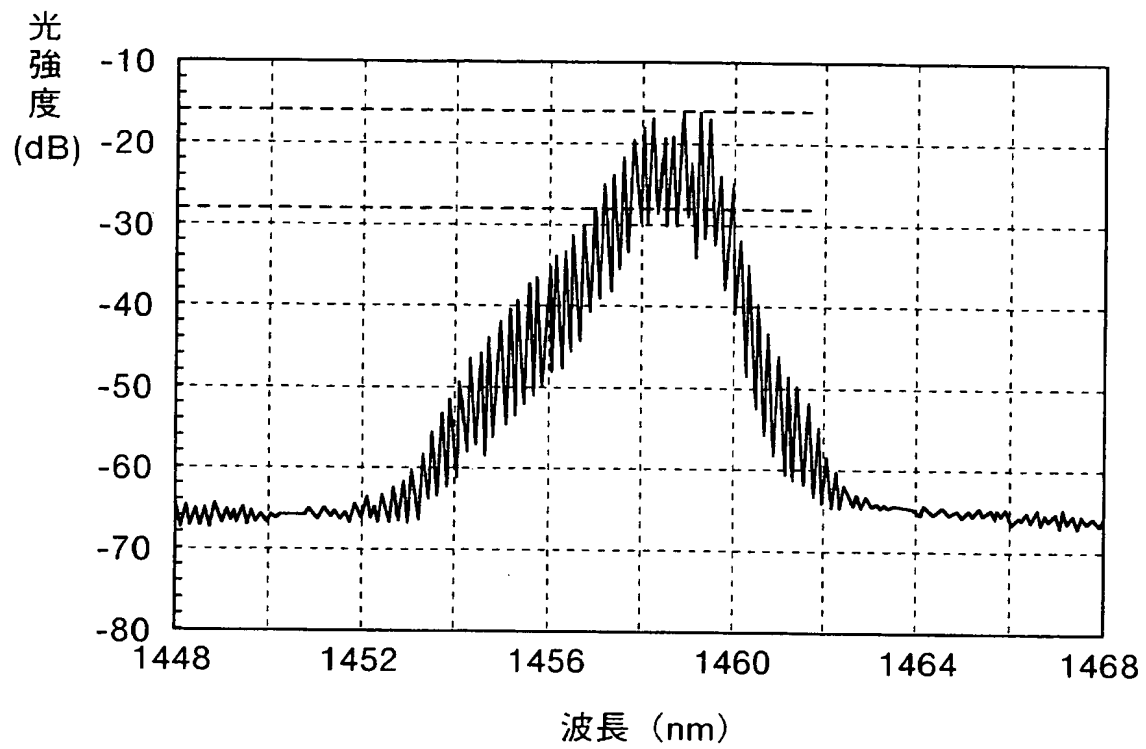




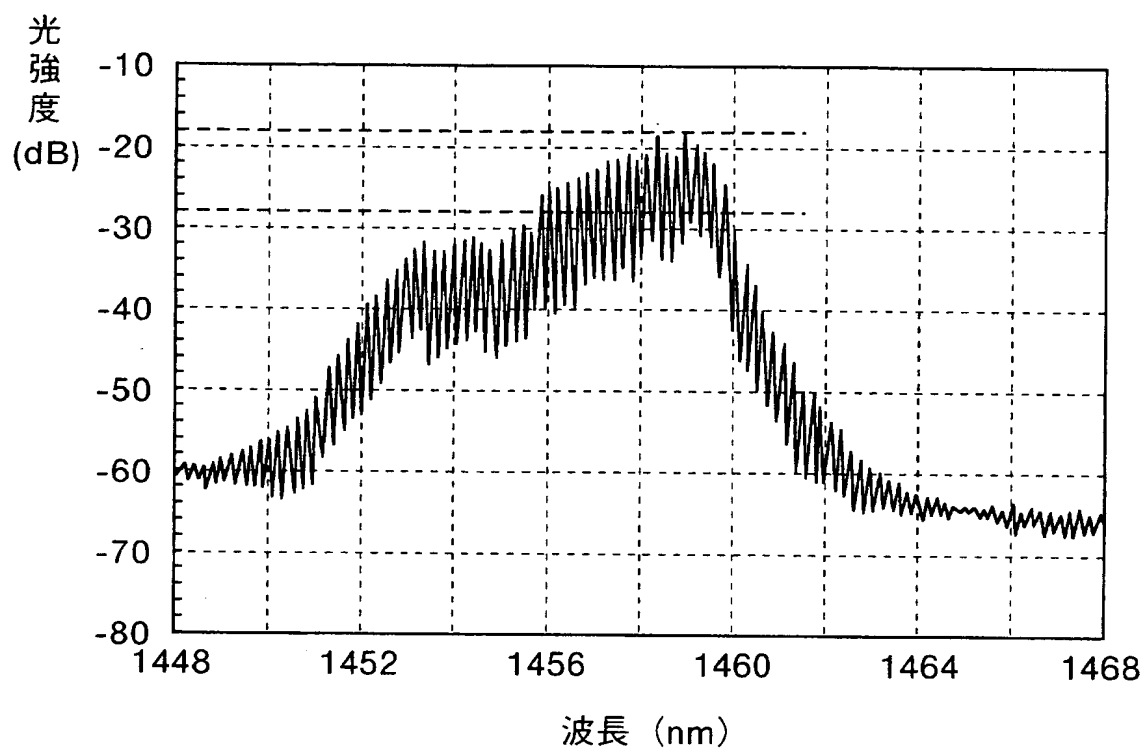
【図 18】



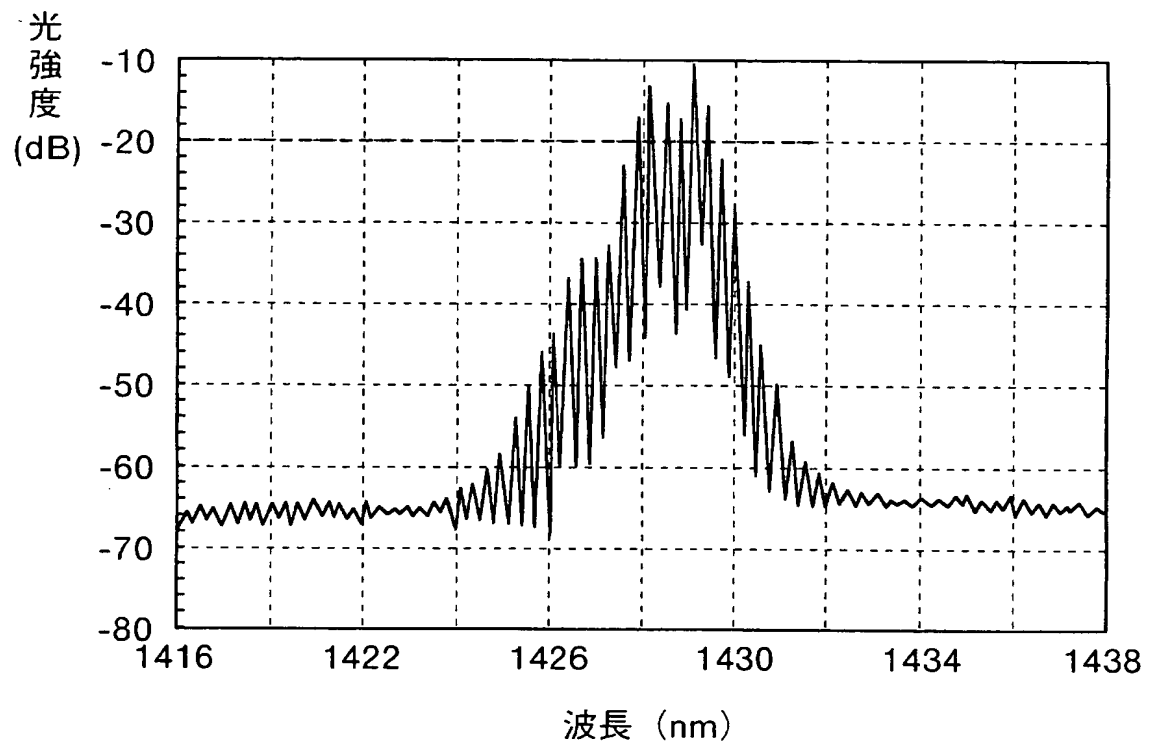
【図 19】



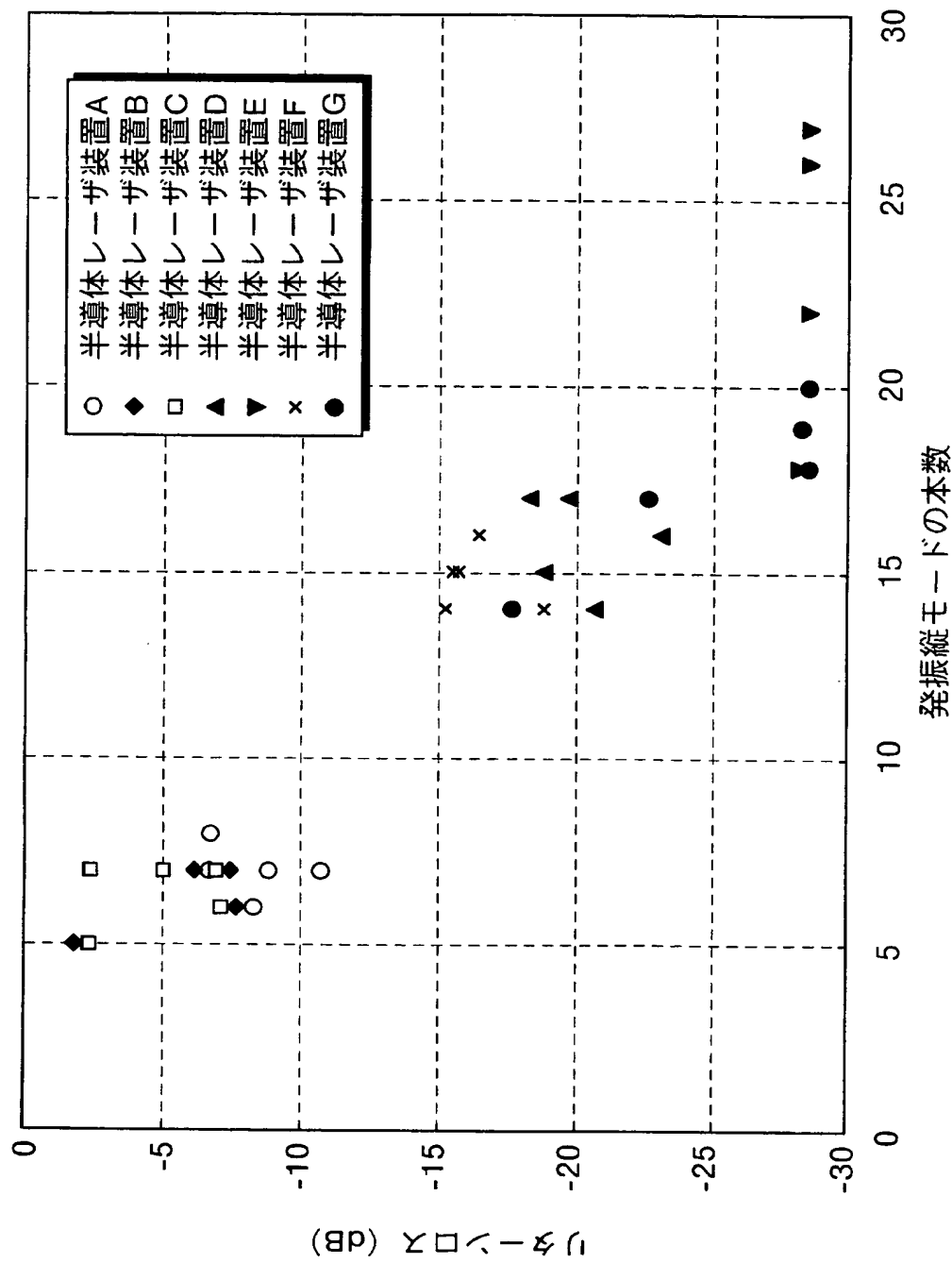
【図 20】



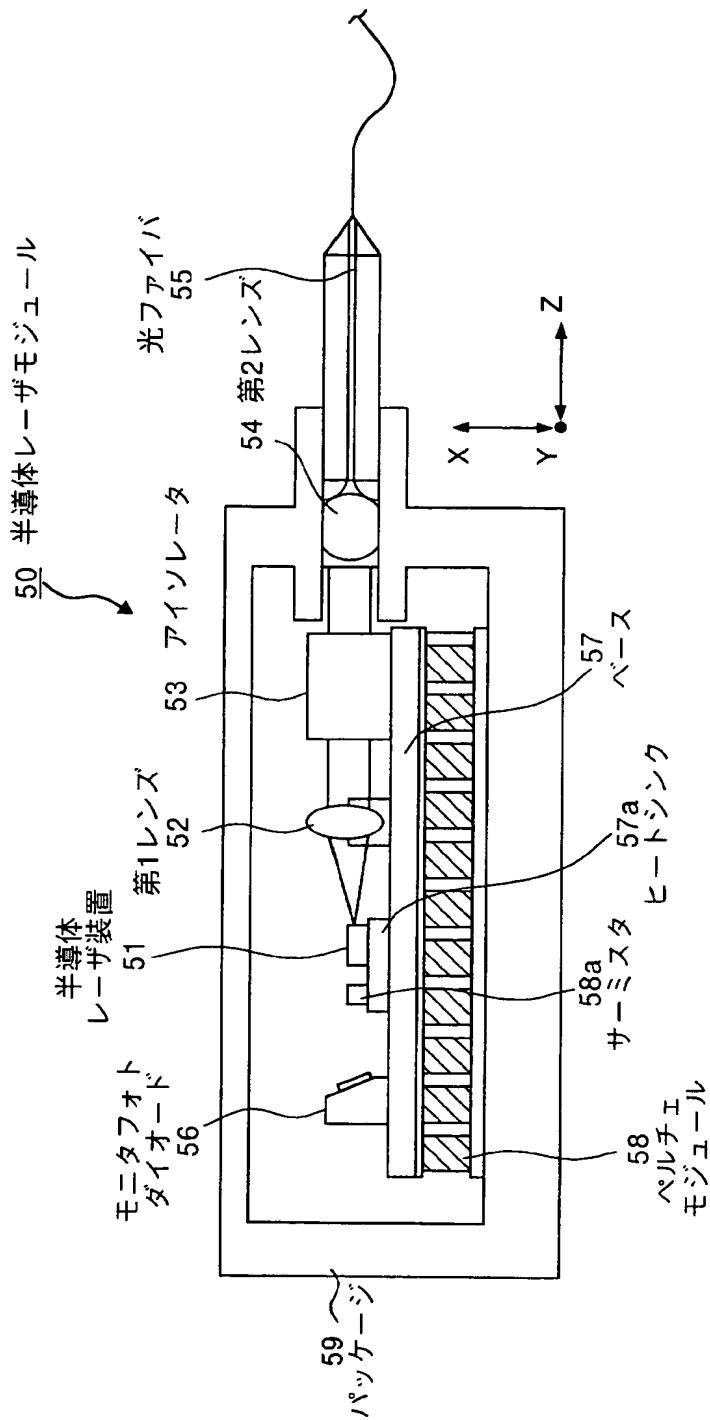
【図 21】



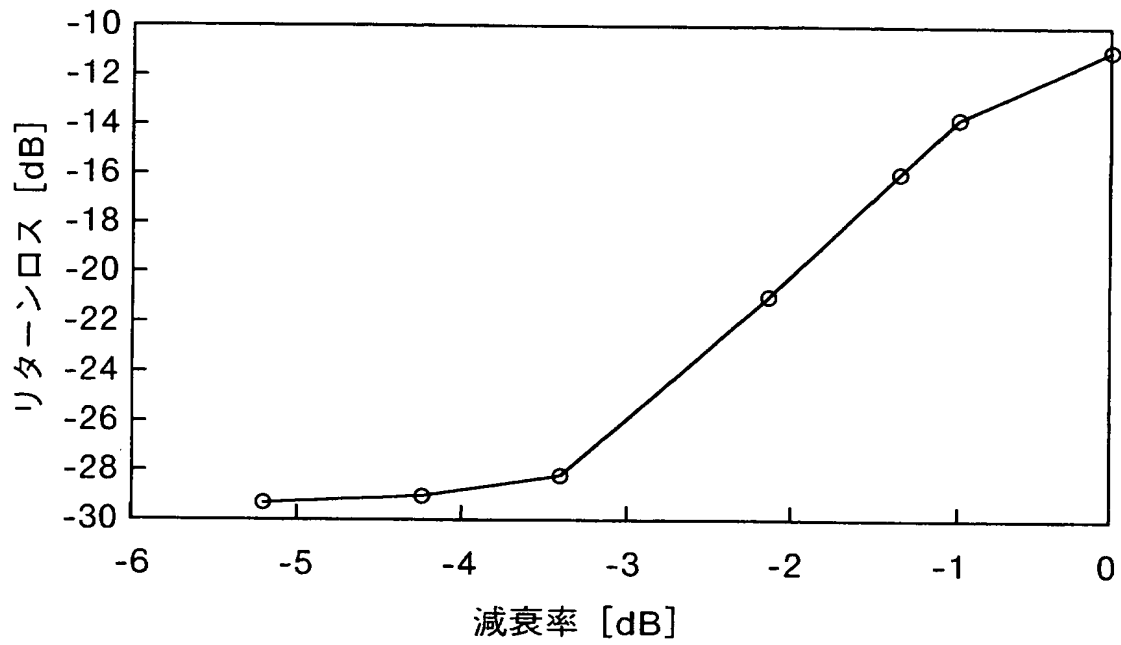
【図 22】



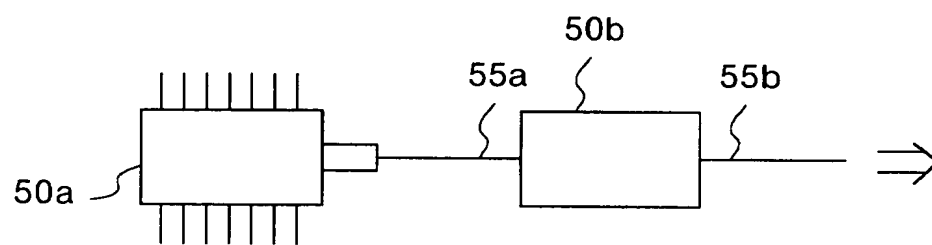
【図 23】



【図 24】

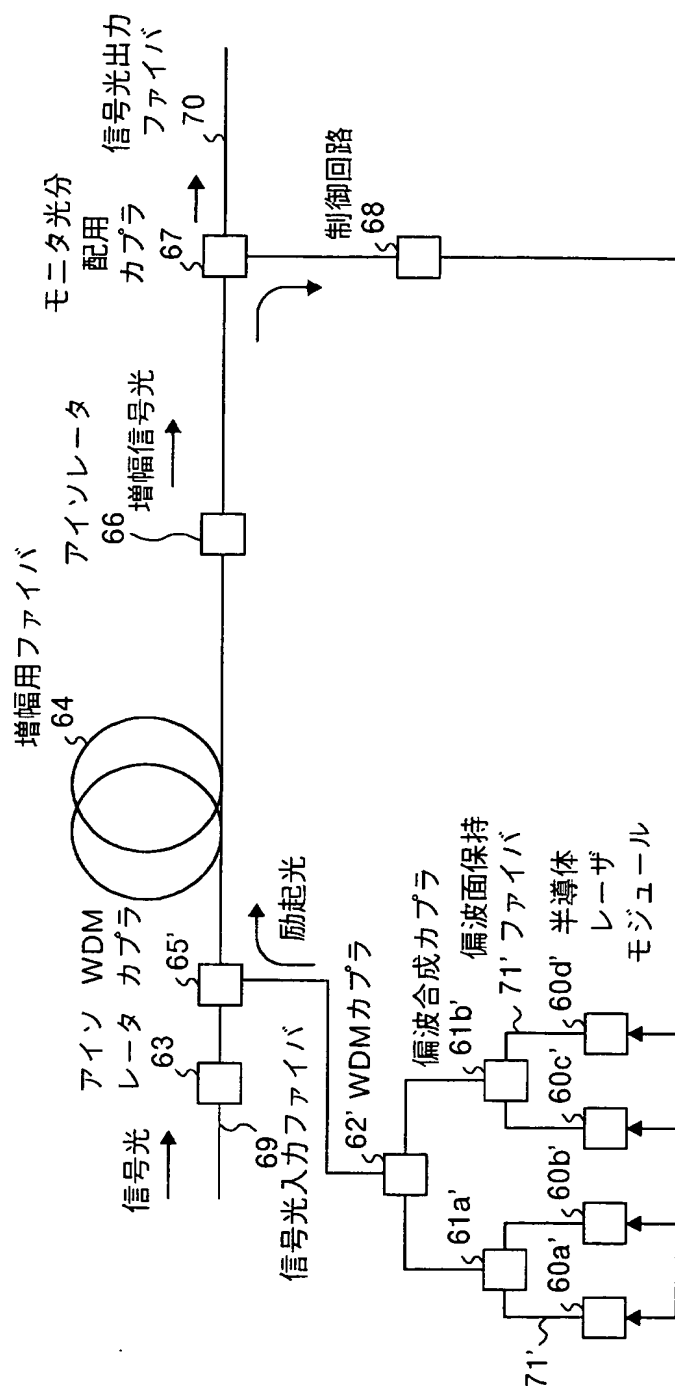


【図 2 5】

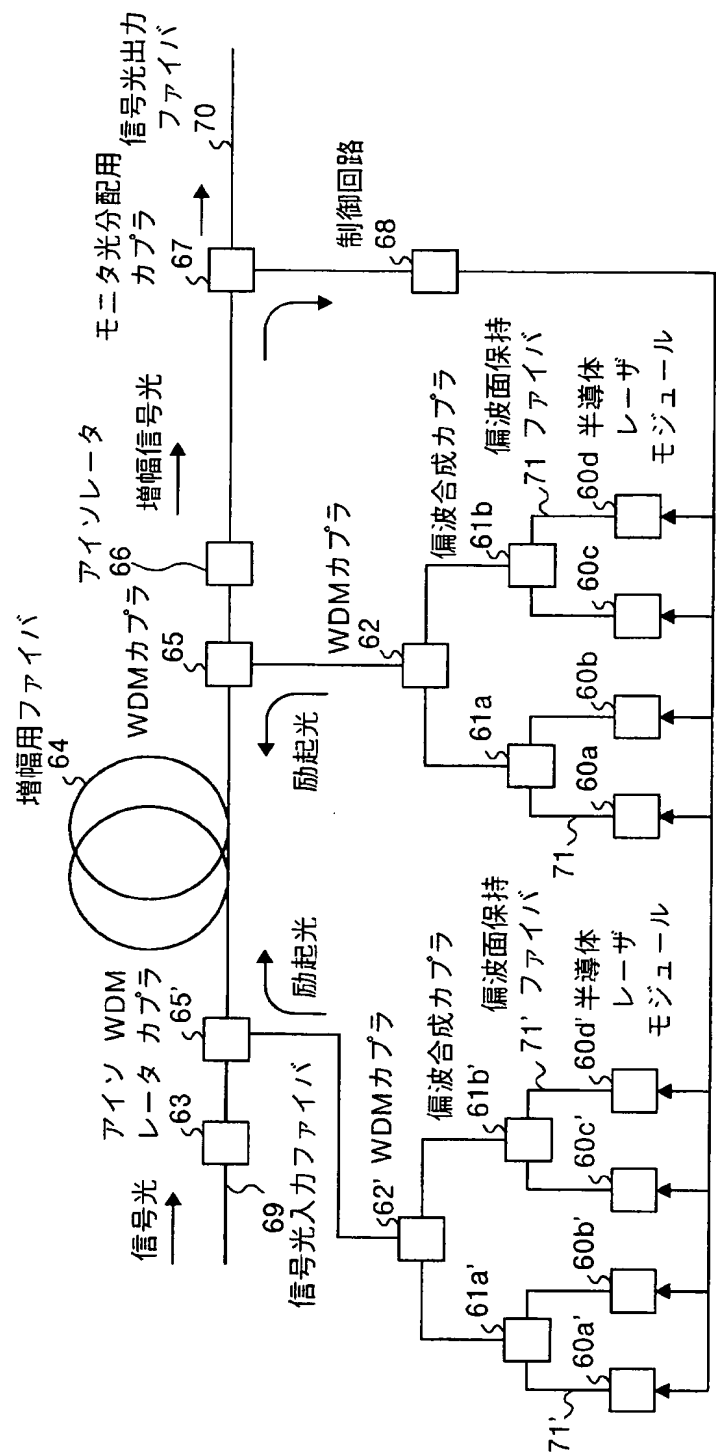




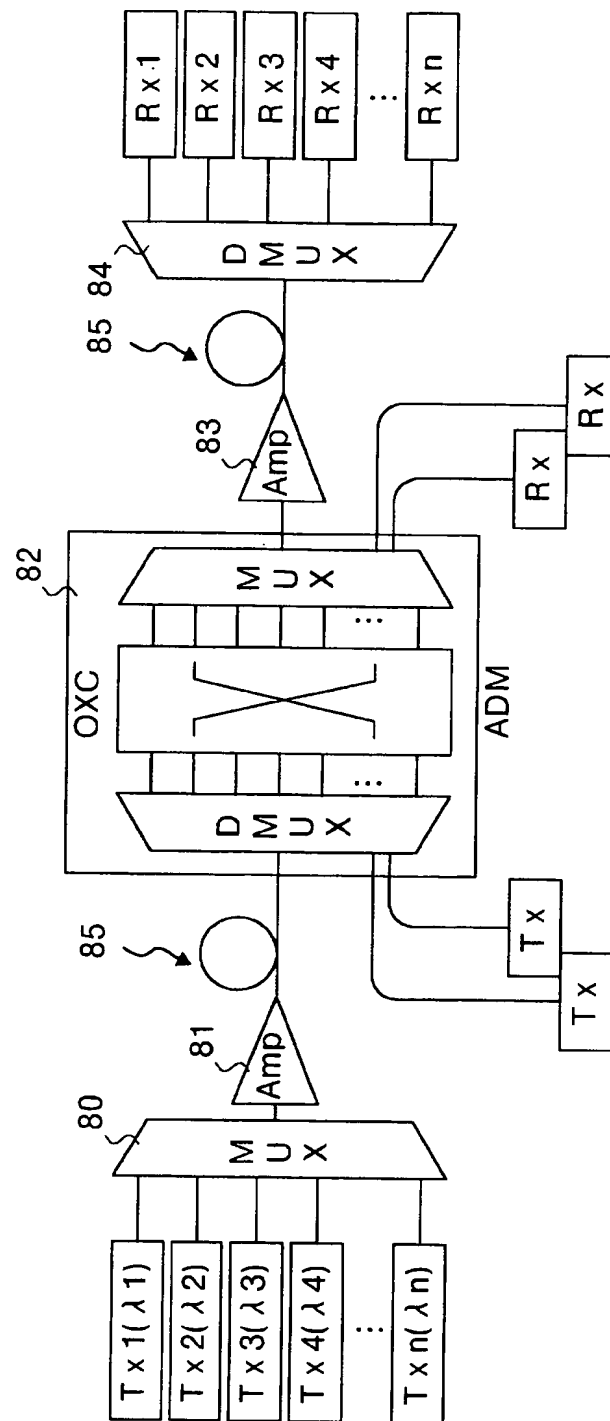
【図 26】



【図 27】



【図 28】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 R I Nの値が小さい増幅信号光を得ること。

【解決手段】 レーザ光の出射端面に設けた出射側反射膜 1 5 と該レーザ光の反射端面に設けた反射膜 1 4 との間に形成された G R I N-S C H-M Q W活性層 3 を有し、複数の発振縦モードをもつレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、G R I N-S C H-M Q W活性層 3 に注入されるバイアス電流を変調する変調信号を生成し、該変調信号を前記バイアス電流に重畳する変調信号印加部 2 2 を備え、変調信号印加部 2 2 は、レーザ光の変調によってレイリー散乱レベルに 2 d B加えた値以下の値をもつ誘導ブリルアン散乱のリターンロスを与え、伝送後の R I Nを低減している。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 2 0 7 4 9 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 9 0 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

氏 名

古河電気工業株式会社